Kanban e Sistemas Híbridos de PCP

Hominiss Consulting

Sumário

1. A importância do sistema de PCP 3

2. Introdução 3

2.1. Produção empurrada 3

2.1.1. Dificuldades da produção empurrada 4

2.2. Produção puxada 4

2.2.1. Dificuldades da produção puxada 5

2.3. Questões do curso 6

2.4. Sistemas híbridos de produção 6

3. Sistemas puxados 7

3.1. Ganhos obtidos com o sistema puxado 8

3.2. Sistema Kanban e os Loops de Produção 8

3.3. Sistemas e tipos de Kanbans 9

4. Projeto macro do sistema híbrido 10

4.1. Definição dos pontos de supermercado 10

4.2. Definição das subfamílias de programação e controle 13

4.2.1. Frequência de demanda 13

4.2.2. Classificação ABC 14

4.2.3. Volume da demanda 15

4.2.4. Definição dos sistemas 15

4.3. Dimensionamento dos pulmões e supermercados 16

4.3.1. Supermercado e número de kanbans 16

4.3.2. Duas Gavetas 18

4.3.3. Cálculo do TPT 18

4.4. Definição das sistemáticas de programação e controle 20

4.4.1. Exemplo: simulação sistema puxado 22

4.5. Flexibilização dos fluxos puxados 23

4.6. Programação e nivelamento do processo puxador 24

4.6.1. Programação do processo puxador 25

4.6.2. Criação de rotina de busca contínua de nivelamento da demanda 26

4.7. Regras finais 27

Hominiss CONSULTING

1. A importância do sistema de PCP

O planejamento, programação e controle da produção (PCP) tem como principal objetivo fazer com que a produção de uma organização atenda a sua real demanda, nas quantidades e prazos corretos. A principal dificuldade desse processo é equilibrar a confiabilidade da entrega ao cliente com estoques baixos, que favorecem a rentabilidade da empresa ao garantir faturamento com menores custos.

Para que isto ocorra, a escolha do sistema de gestão da produção é crucial e deve considerar as características da demanda e do sistema produtivo. Um sistema de PCP inadequado pode gerar sobra e falta de componentes que impossibilitam a entrega do produto final. Além disso, um PCP falho pode ocasionar reprogramações e interrupções de fluxo que geram atrasos e minimizam a confiabilidade do processo.

A proposta desse capítulo é ajudar na definição do melhor sistema de PCP para a sua organização. Apresentaremos quais pontos considerar na escolha de um sistema de produção e qual opção resultará na melhor combinação entre custos de estoque e confiabilidade de entrega.

Além disso, a explicação precisa sobre como utilizar os diversos tipos de Kanban, bem como o estabelecimento de supermercados e um sistema híbrido de produção, que une os sistemas puxado e empurrado, serão explorados como soluções para os problemas de controle de produção enfrentados pela maioria das organizações.

2. Introdução

2.1. Produção empurrada

A produção empurrada existe em situações como a da Figura 1, que mostra um Mapa de Fluxo de Valor (MFV) onde o cliente envia uma demanda desnivelada ao PCP, que é responsável pela programação semanal. Nesta situação, a produção executa o segundo o que foi programado por um sistema MRP (*Material Requirement Planning*), que normalmente é baseado em previsões.

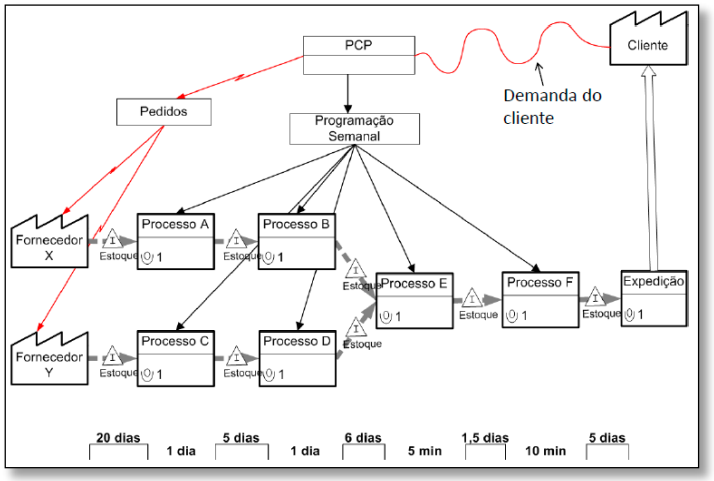

Figura 1 – MFV Empurrado

2.1.1. Dificuldades da produção empurrada

Em um sistema de produção empurrada, existem estoques intermediários entre os processos. Além dos estoques, a produção empurrada implica em:

- Longos *lead times*:
  - Desde o pedido do cliente, passando pela produção, até o envio deste produto existe um tempo de atravessamento muito longo.
- Lotes econômicos:
  - Para otimizar *setups* e buscar maior eficiência do processo produtivo.
- Reprogramações e interrupções no fluxo:
  - Ocorrem devido à imprecisão da programação do cliente e variação nas previsões;
  - Mais intenso em empresas com grande *mix* de produtos.
- Estruturas de produtos complexas:
  - Diversos componentes na árvore do produto.

Os problemas da produção empurrada geram um fenômeno conhecido como **efeito chicote ou efeito Forrest**, que diz que uma pequena variação no início de uma cadeia de suprimentos resulta em uma grande variação em seu final (Figura 2). No âmbito da produção, esse efeito diz que variações na demanda final do cliente causam grande impacto nos estoques ao longo do fluxo, fazendo com que se tenha grandes estoques nos processos iniciais e estoques menores no final.

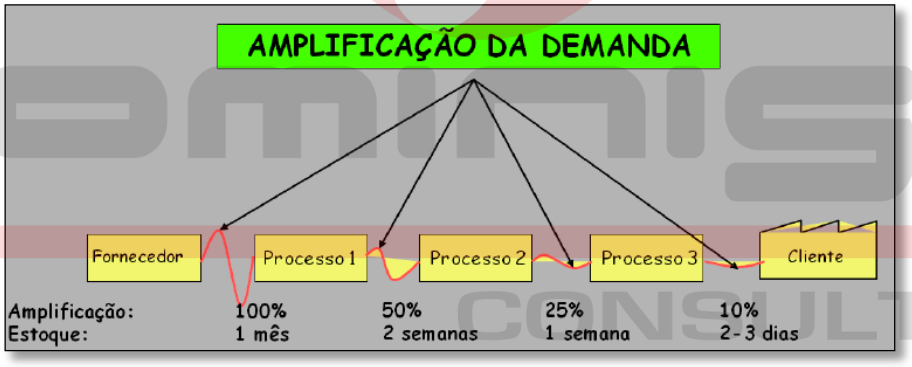

Figura 2 – Efeito chicote

Por fim, os principais problemas da produção empurrada, são:

- A falta de um mecanismo eficaz para saber, no tempo correto, quais peças deverão ser produzidas sem que haja a intervenção de um supervisor;
- Baixa confiabilidade dos sistemas de informação, principalmente devido a erros de apontamento de saídas, estoques e refugos.

2.2. Produção puxada

A produção puxada é um sistema de programação e controle de produção em que cada etapa do processo só produz um bem ou serviço quando o **processo posterior**

ou o cliente final solicitar. Neste caso, a solicitação acontece quando o processo posterior consome de um estoque controlado chamado **supermercado**, que se localizam entre os processos e consistem em estoques controlados. A responsabilidade pela programação diária é transferida para o chão de fábrica pela produção puxada, eliminando o problema da interferência do supervisor ou líder nesta programação.

A Figura 3 exibe o mesmo mapa apresentado anteriormente, porém com produção puxada. Neste caso, diferentemente do fluxo de valor empurrado, o PCP programa apenas o processo puxador que, ao consumir um item do supermercado, sinaliza para os processos anteriores a necessidade de se produzir mais itens. Após o processo puxador, o sistema funciona em fluxo contínuo (FIFO). Deste modo, todos os itens são controlados por sistema puxado.

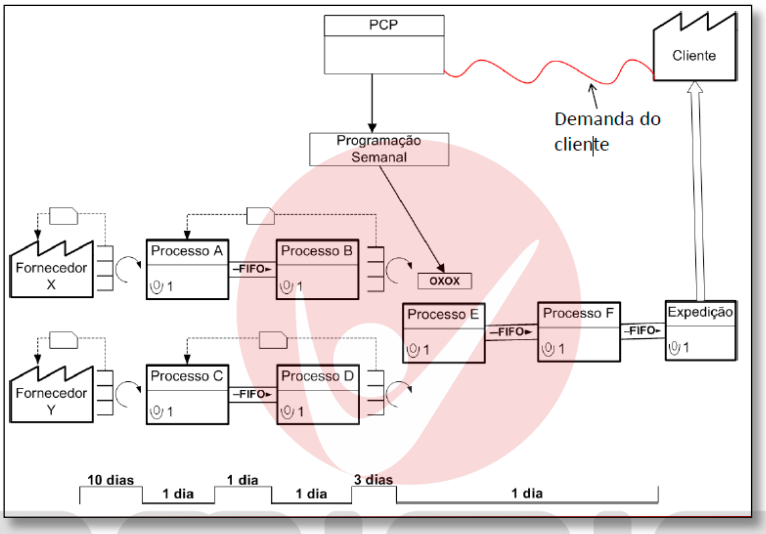

Figura 3 – MFV Puxado

2.2.1. Dificuldades da produção puxada

Com a produção puxada, a tendência é que os estoques sejam reduzidos, uma vez que controlamos cada ponto do estoque. Quando colocamos todos os produtos em produção puxada, alguns aspectos devem ser levados em consideração:

- Os supermercados são um estoque dimensionado e controlado, mas continuam sendo estoque que geram custos. Portanto, quanto maior a variedade de itens, maior poderão ser os custos;
- Processos de produção compartilhados entre famílias de produtos;
- Demanda instável e variável por tipo de produto;
- Produtos com diferentes características de demanda.

Esses fatores geram uma variação no volume total de estoque que, mesmo sendo pequena, significa que pode haver uma grande variação quando analisarmos os produtos individualmente. Um supermercado é composto por vários produtos e, para aqueles produtos que possuem maior variação de demanda, um supermercado maior

será dimensionado. Portanto, quanto maior a variação da demanda, maior o estoque e maiores serão os custos.

2.3. Questões do curso

Partindo dos conceitos apresentados, as questões que buscaremos solucionar neste curso são:

- Como desenvolver um sistema de PCP em ambientes de manufatura enxuta que possuem alta variedade de produtos, estruturas complexas, variabilidade de *lead time* e demanda flutuante?
- Outras questões:
  - Diferentes sistemas de PCP tais como *Kanban* e MRP podem coexistir harmoniosamente em um mesmo ambiente produtivo? Como?
  - Como definir quais itens serão controlados por *Kanban* ou ordem de produção?
  - Como tornar um sistema puxado flexível frente às flutuações de demanda?

2.4. Sistemas híbridos de produção

As respostas para as questões do tópico anterior são dadas através da apresentação dos **sistemas híbridos de PCP**. O objetivo desse tipo de sistema é eliminar práticas internas que geram amplificação da demanda e adequar o sistema para alta variedade de produtos e demanda flutuante.

Um sistema híbrido de programação e controle da produção consiste na adoção, em um mesmo fluxo de valor, de diferentes estratégias de produção e tipos de emissão e controle das ordens de produção, como por exemplo MRP e Kanban. As estratégias de produção podem ser, por exemplo, Make to order ou Fabricar conforme pedido, Assembly to Order ou Montar sob pedido, e Make to Stock ou Produzir para estoque.

A Figura 4 mostra um exemplo de uma estrutura de sistema híbrido de produção. O cliente faz a solicitação, que é enviada para o PCP, e também pega itens do supermercado, que é controlado por Kanban. Este é um exemplo de um processo produtivo é controlado tanto pelo PCP quanto por *Kanban*, ou seja, um sistema híbrido.

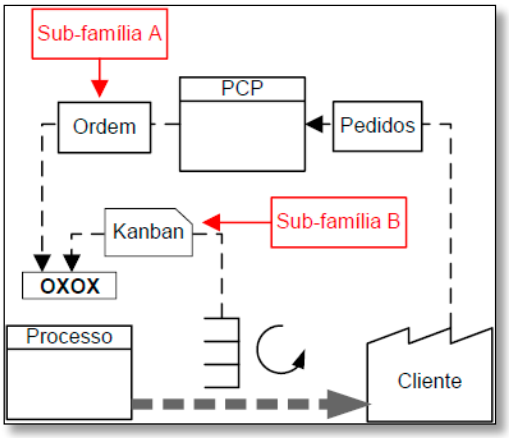

Figura 4 – Exemplo de sistema híbrido de PCP

3. Sistemas puxados

A estrutura básica de um processo puxado pode ser vista na Figura 5, onde estão ilustrados o processo cliente, que é a Montagem, os símbolos de produção puxada, supermercado e *Kanban*.

Kanban, que em japonês significa sinal como apresentado no módulo de mapeamento de situação futura, é um **sistema de informação** visual que fornece instruções para o processo de produção sobre:

- O que deve ser produzido;
- Quando deve ser produzido;
- Quanto deve ser produzido.

O **supermercado** é um estoque controlado e dimensionado onde:

- É possível saber quanto existe, em média, no supermercado;
- Conhecer o tamanho máximo do supermercado, ou seja, do estoque;
- O cliente encontra o que precisa e o item procurado sempre deve estar disponível;
- O fornecedor deve repor o supermercado antes que os níveis mínimos de peças definidos sejam atingidos;
- O número de cartões *Kanban* limita a quantidade de itens em estoque.

Em um supermercado, tem-se peças mais representativas (classe A) e peças menos representativas (classe B e C) em termos de receita. Deste modo, em um supermercado, as peças classe A devem estar mais próximas ao ponto de uso em locais privilegiados. Do mesmo modo, as peças menos representativas podem ficar em locais mais afastados do ponto de uso.

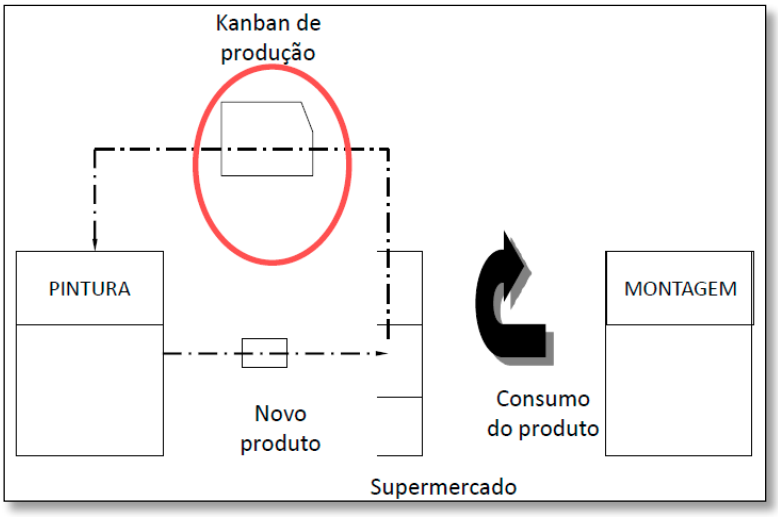

Figura 5 – Estrutura de um sistema de produção puxada

3.1. Ganhos obtidos com o sistema puxado

A implementação de um sistema puxado permite que:

- Haja melhor organização e controle dos estoques:
  - Ao dimensionar um supermercado, é possível saber a quantidade exata de itens que estarão em estoque, facilitando a organização.
- O fluxo de informação seja otimizado:
  - Não há mais necessidade de recebimento de ordem para a produção;
  - O sistema *Kanban* acaba com a burocracia da lógica de programação da produção.
- A velocidade de resposta seja maior:
  - A demanda é baseada no consumo real de produtivo, não na estimativa;
- Haja melhor ocupação do espaço físico devido ao dimensionamento dos supermercados;
- Elimina-se problemas de falta e sobra:
  - Problema comum em processos de agregação de componentes, onde falta determinado componente enquanto outro sobra, impossibilitando a produção.

3.2. Sistema *Kanban* e os *Loops* de Produção

Os *loops* de produção se referem ao ciclo dos cartões *Kanban* dentro do fluxo de valor. Esse ciclo diz respeito ao caminho que o cartão percorre desde quando sai de seu supermercado até retornar a ele, nunca saindo deste trajeto. Sua principal função é garantir que o *Kanban* esteja no local correto, uma vez que o cartão nunca deve abandonar o *loop.* Na Figura 6, temos destacados os *loops* de produção do fluxo de valor.

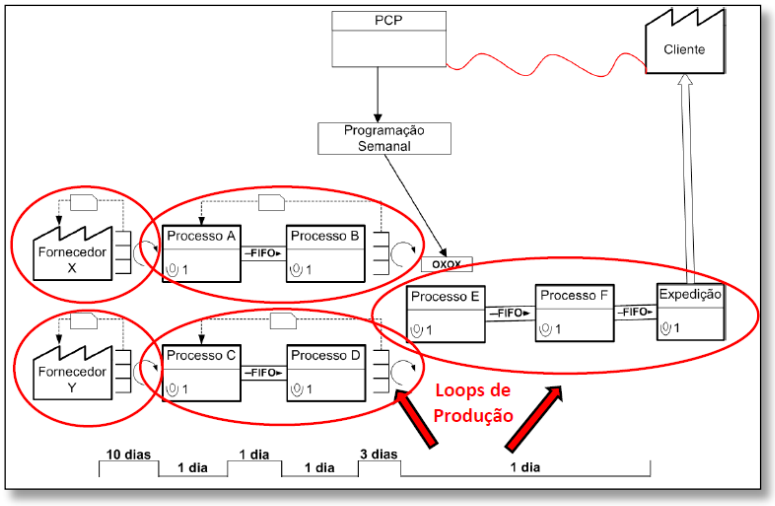

Figura 6 – Loops de produção no MFV

3.3. Sistemas e tipos de *Kanbans*

O **sistema de 1 Kanban**, basicamente, consiste em um cartão Kanban de produção atrelado a uma peça no supermercado. Quando esta peça é consumida, o kanban de produção que o acompanhava vai para o quadro de Kanban indicando que a peça foi utilizada. A partir disso, aguarda-se o momento de produzir este item novamente, seja por quantidade constante ou ciclo do pedido constante. Esses conceitos serão apresentados posteriormente.

O **sistema de 2 Kanbans** é o sistema clássico da Toyota e é composto por dois tipos de cartão: o kanban de produção e o kanban de transporte. Este sistema é utilizado quando o supermercado fica distante do local de consumo e é preciso transportar os itens até onde ele será utilizado. Enquanto a peça está no supermercado, apenas o Kanban de produção a acompanha. Quando esta peça é requisitada, o kanban de produção é retirado da peça e vai para o quadro kanban, enquanto o Kanban de transporte passa a acompanhar a peça até o local que vai consumí-la. Quando o processo utilizar todas as peças referentes àquele kanban de transporte, o kanban de transporte é colocado em um segundo quadro que indica que o processo deve ser reabastecido. O kanban de transporte é então retirado do quadro para que a peça seja pega no supermercado e o ciclo novamente ocorra. Posteriormente, as peças serão repostas no supermercado por quantidade constante ou ciclo de pedido constante de acordo com quadro Kanban.

O **Kanban de sinal** é normalmente aplicado para itens classe C. O Kanban é colocado fisicamente em um certo nível de maneira que, quando o itens forem consumidos até este atingir esse ponto de reposição e o Kanban de sinal ficar visível, o Kanban é liberado para ser levado até o processo fornecedor. O fornecedor, por sua vez, fabrica um lote do tamanho indicado no Kanban.

O **Kanban de duas gavetas** faz parte de um sistema com duas caixas de itens, principalmente quando o kanban de sinal não é viável devido o formato das peças. Ao consumir os itens de uma caixa, dispara-se o Kanban para a produção e, enquanto os

novos itens são produzidos, utiliza-se os itens da outra caixa. É um tipo de controle por ponto de reposição e pode gerar mais estoques.

O **Kanban eletrônico** permite identificar, via computador, a quantidade de Kanbans que estão no quadro e de peças no supermercado. A Hominiss Consulting possui um software de Kanban eletrônico que permite controlar de maneira eficiente a situação dos cartões. Esse sistema é interessante para empresas que possuem grande variedade de itens e uma boa cultura de apontamentos em fábrica.

Por fim, utilizar os **carrinhos/contenedores** como Kanbans também é uma alternativa mais simples para controlar o uso de peças. Quando um carrinho ou contenedor vazio é retirado do supermercado, é possível saber qual item deve ser produzido através de sua etiqueta de identificação.

4. Projeto macro do sistema híbrido

Nos tópicos anteriores, foram levantados as vantagens e desvantagens de sistemas totalmente puxados ou empurrados. Neste tópico, abordaremos o projeto macro de um sistema híbrido, que é uma mistura de sistema puxado e empurrado. Esse projeto é composto por sete etapas:

1. Definição dos pontos de supermercado;
2. Definição das subfamílias de programação e controle;
3. Dimensionamento do tamanho dos pulmões e supermercados;
4. Definição das sistemáticas de programação e controle;
5. Flexibilização dos fluxos puxados;
6. Programação e nivelamento do processo puxador.

4.1. Definição dos pontos de supermercado

Os supermercados devem ser utilizados apenas quando **não** for possível estabelecer fluxo contínuo. Quando isso acontece, alguns critérios devem ser seguidos para que o melhor tipo de supermercado seja colocado na localização que mais beneficie o processo.

Em uma situação em que o cliente possui uma demanda desnivelada e tem-se fornecedor como processo gargalo (Figura 7), o **supermercado regulador do consumidor** aparece como uma solução para esta situação, evitando o desabastecimento dos processos consumidores quando estiver em períodos de alta demanda e o gargalo parado em períodos de baixa demanda. O objetivo desse tipo de supermercado é garantir a flexibilidade do volume dos processos consumidores. Quando a demanda do consumidor é alta, o processo gargalo consegue atendê-la por conta do supermercado que **regula** o processo consumidor.

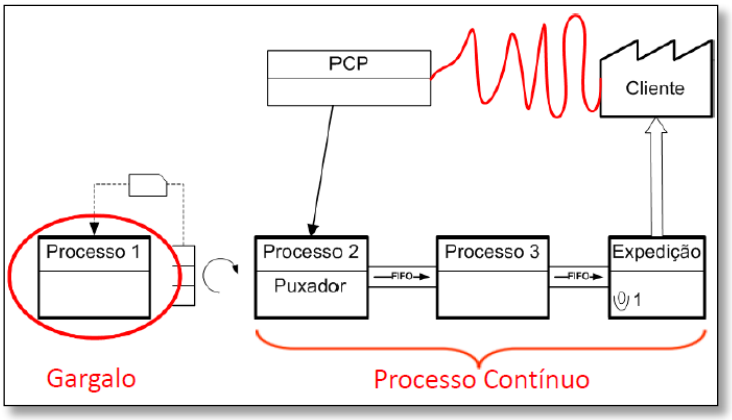

Figura 7 – Fluxo de valor com supermercado regulador do consumidor

O **supermercado regulador do produtor** é útil quando há um processo compartilhado e uma demanda um pouco desnivelada. No mapa do fluxo de valor da Figura 8, simboliza-se um processo compartilhado com um corte no canto inferior direito. Um processo compartilhado tem como característica o fornecimento de produtos para outras linhas e famílias de produto, o que possivelmente faz com que haja setups longos e alta variedade de produtos sendo produzidos naquele processo, que são elementos que estimulam a produção de grandes lotes. Processos compartilhados normalmente não conseguem ficar em fluxo contínuo, o que faz com que seja necessário inserir um supermercado para garantir a flexibilidade de mix. Este supermercado evita superprodução, estoques excessivo, esperas, falta e sobra.

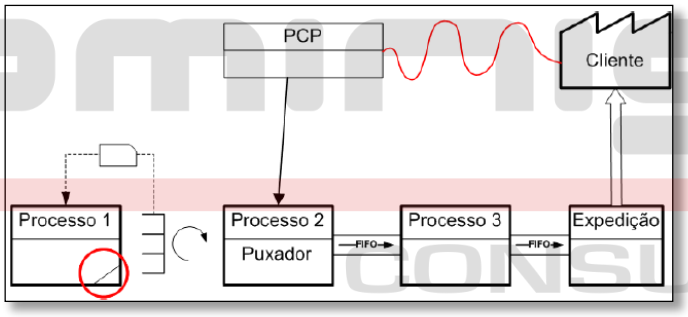

Figura 8 – Fluxo de valor com supermercado regulador do produtor

O **supermercado segurança do consumidor** é utilizado quando o processo puxador é o gargalo e o processo anterior a ele possui baixa confiabilidade. Este tipo de supermercado dá segurança ao processo consumidor (gargalo) e seu objetivo principal é proteger o gargalo contra a baixa confiabilidade do processo fornecedor. Além disso, esse supermercado evita desabastecimento e gargalo parado.

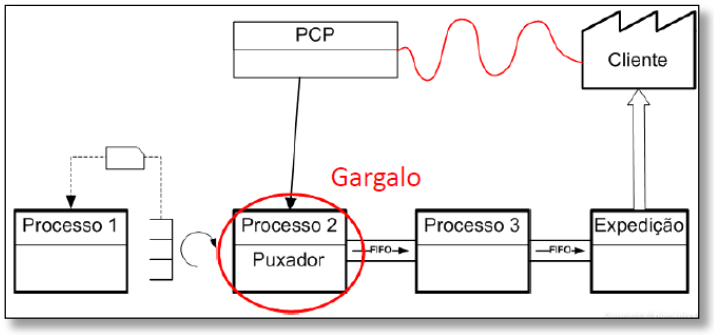

Figura 9 – Fluxo de valor com supermercado segurança do consumidor

O **supermercado pulmão do consumidor** deve ser utilizado em fluxos com longo *lead time* e onde o cliente possui baixa tolerância à espera. O objetivo desse tipo de supermercado é a rapidez na entrega e ele busca evitar o desabastecimento e a espera do cliente final.

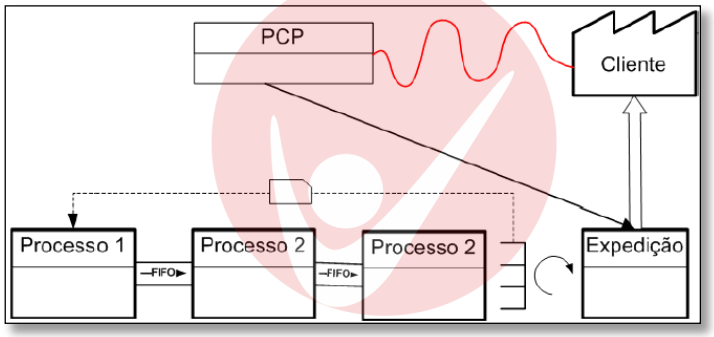

Figura 10 – Fluxo de valor com supermercado pulmão do consumidor

O **supermercado sincronizador** é muito comum em empresas que possuem processos de solda e montagem, pois são processos que unem diversos componentes no processo puxador. O objetivo desse tipo de supermercado é a sincronização dos componentes e ele busca evitar falta e sobra, esperas, filas e estoques excessivos.

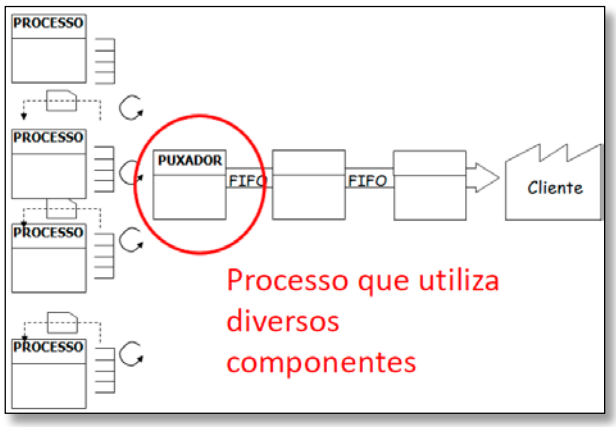

Figura 11 – Fluxo de valor com supermercado pulmão do consumidor

A Figura 12 mostra uma tabela que resume todos os tipos de supermercado apresentados.

	Características	Localização	Objetivos	Evita
Regulador do consumidor	Alta volatilidade de demanda	Após o processo gargalo	Flexibilidade de volume	Desabastecimento e gargalo parado
Regulador do produtor	Processos compartilhados, alta variedade, setups longos	Após processo altamente compartilhado	Flexibilidade de mix	Superprodução, esperas/filas, estoques excessivos, falta e sobra
Pulmão do consumidor	Baixa tolerância do prazo de entrega pelo cliente final, longo lead time	Após o último processo produtivo	Produtos a pronta entrega	Desabastecimento do cliente final
Segurança do consumidor	Retrabalhos, quebras/ paradas, atrasos	Antes do processo gargalo	Abastecimento do gargalo	Desabastecimento, gargalo parado
Sincronizador	Processo que utiliza diversos componentes (solda, montagem, etc)	Antes do processo que sincroniza os componentes	Sincronização de componentes	Falta e sobra, esperas /filas, estoques excessivos, superprodução

Figura 12 – Tipos de supermercado e características

4.2. Definição das subfamílias de programação e controle

Este tópico diz respeito à definição de quais itens serão controlados pelos diferentes tipos de sistemas, como *Kanban*, 2 gavetas, MRP etc. Existem três critérios que devem ser utilizados no momento de definição dos sistemas de controle de produção:

- Frequência da demanda do item;
- Classificação ABC de custo;
- Volume da demanda.

4.2.1. Frequência de demanda

Considera-se um item frequente aquele que é sempre produzido e recorrente. Um bom critério para definir se um determinado item deve ser classificado como "Frequente" ou "Esporádico/Intermitente" é a relação entre a sua média (aritmética) de consumo e o desvio padrão no período considerado:

*Se **MÉDIA>DESVIOPADRAO**, o item é frequente*
*Se **MÉDIA<DESVIOPADRAO**, o item é esporádico*

O desvio padrão é uma medida de dispersão da média. Quanto maior o desvio padrão, mais os itens se diferenciam da média, ou seja, maior a dispersão em relação à média. Para calcular o desvio padrão, utiliza-se a equação abaixo e, no Excel pela fórmula **DESVPAD.**

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(y_{is} - M)^2}{(n_y - 1)}}$$

onde:
s = número da série; i = número do ponto na série s; m = número de séries para o ponto y no gráfico; n = número de pontos em cada série; y_{is} = valor de dados da série s e ponto i; n_y = número total de valores de dados em todas as séries; M = média aritmética.

A Figura 13 mostra um exemplo do cálculo da média e do desvio padrão de diversos itens, classificando-os como frequentes e esporádicos.

Itens/ dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	DESPAD	
a	12	12	15	17	18	5	9	0	10	8	10,6	5,5	FREQ
b	20	0	0	0	14	3	9	30	0	0	7,6	10,6	ESP
c	2	4	0	7	8	4	1	1	1	1	2,9	2,8	FREQ
d	17	20	24	14	23	25	20	19	26	22	21	3,7	FREQ
e	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	FREQ

Figura 13 – Exemplo de cálculo da média e desvio padrão de itens

4.2.2. Classificação ABC

A classificação ABC é amplamente utilizada para realizar posicionamento de estoque e também para definição de itens importantes para o faturamento da empresa. Isso permite que os gestores concentrem seus esforços no controle dos itens mais significativos.

Em qualquer estoque que contenha mais de um item, alguns serão mais importantes que os outros. Para discriminá-los, deve-se fazer uma lista de acordo com suas movimentações de valor (uso multiplicado por seu valor unitário). Geralmente, uma pequena proporção dos itens totais contidos em estoque vão representar uma grande proporção do valor total em estoque. Deste modo, utilizando a lei de Pareto (regra 80/20), a classificação ABC define três situações que classificam itens como A, B ou C:

- Itens classe A: 20% de itens que representam cerca de 80% do valor total do estoque;
- Itens classe A: 30% de itens que representam cerca de 10% do valor total do estoque;
- Itens classe A: 50% de itens que representam cerca de 10% do valor total do estoque.

A tabela da Figura 14 mostra um exemplo da aplicação da classificação ABC em itens de um estoque. Neste caso, a classificação é realizada multiplicando-se a quantidade utilizada e o custo unitário de cada item. Ordenando-se do maior valor para

o de menor valor, classificam-se como itens classe A os que somam até 80% do valor total, itens classe B os que somam entre 80 e 90% e itens classe C os acima de 90%.

Item de estoque	Uso (itens/ano)	Custo (R$/item)	Valor de uso (R$/ano)	% do valor total	% cumulativa do valor total	Classe ABC
1	1000	R$ 2,00	R$ 2.000,00	31,7%	31,7%	A
2	500	R$ 2,75	R$ 1.375,00	21,8%	53,5%	A
3	1000	R$ 0,90	R$ 900,00	14,3%	67,8%	A
4	95	R$ 8,50	R$ 807,50	12,8%	80,6%	B
5	520	R$ 0,54	R$ 280,80	4,5%	85,1%	B
6	73	R$ 2,30	R$ 167,90	2,7%	87,7%	B
7	520	R$ 0,22	R$ 114,40	1,8%	89,5%	B
8	170	R$ 0,65	R$ 110,50	1,8%	91,3%	C
9	250	R$ 0,34	R$ 85,00	1,3%	92,6%	C
10	250	R$ 0,30	R$ 75,00	1,2%	93,8%	C
11	400	R$ 0,14	R$ 56,00	0,9%	94,7%	C
12	80	R$ 0,63	R$ 50,40	0,8%	95,5%	C
13	230	R$ 0,21	R$ 48,30	0,8%	96,3%	C
14	400	R$ 0,12	R$ 48,00	0,8%	97,0%	C
15	500	R$ 0,09	R$ 45,00	0,7%	97,7%	C
16	50	R$ 0,88	R$ 44,00	0,7%	98,4%	C
17	70	R$ 0,57	R$ 39,90	0,6%	99,1%	C
18	50	R$ 0,64	R$ 32,00	0,5%	99,6%	C
19	50	R$ 0,32	R$ 16,00	0,3%	99,8%	C
20	20	R$ 0,50	R$ 10,00	0,2%	100,0%	C
TOTAL			R$ 6.305,70	100%		

Figura 14 – Exemplo de classificação ABC

4.2.3. Volume da demanda

Do mesmo modo que a classificação ABC, recomenda-se utilizar a lógica da regra de Pareto para a definição dos itens de alto e baixo volume, separando-os da seguinte maneira:

- Alto volume: 20% dos itens que representam cerca de 80% do volume total do estoque;
- Baixo volume: 80% dos itens, os quais representam cerca de 20% do volume total do estoque.

4.2.4. Definição dos sistemas

Com as três classificações feitas, é possível definir o sistema de controle baseado nos critérios da Figura 15.

Na primeira linha da tabela, o *Kanban* é a melhor opção pois evita falta e sobra, não permitindo que um item de alta frequência e volume falte e nem que um item de alto custo sobre.

Na segunda linha, como o custo é baixo, não existe a necessidade de um controle rígido como o do *Kanban* e pode ter estoque um pouco maior. Neste caso, pode-se utilizar o *Kanban* de sinal ou 2 gavetas.

Na terceira linha, como o item possui frequência e custo altos, provavelmente é um item muito caro e deve ser controlado por *Kanban*. Esse *Kanban* deve ser muito bem dimensionado para que se evite custos desnecessários, já que o Volume é baixo.

Na quarta linha, tem-se um item que não demanda em grande controle pois o volume e o custos são baixos, mas como a frequência é alta, o item não pode faltar. Por isso, sugere-se a utilização de *Kanban* de sinal ou 2 gavetas.

Na quinta linha, tem-se um item com baixa frequência, que não deve ser controlado por *Kanban* pois seu volume é alto e corre-se o risco de ficar com peças sobrando ou faltando. E por conta do alto custo, não se deve utilizar 2 gavetas mas sim ordem de pedido.

Na sexta linha, como o item tem baixa frequência e baixo custo, pode-se utilizar *Kanban* de sinal ou 2 gavetas. A ordem também é aceita neste caso, mas não é a melhor solução.

Na sétima linha, como apenas o custo é alto, o item deve ser feito por encomenda e o sistema de controle deve ser a ordem de pedido.

Por fim, na oitava linha, o item que possui frequência, volume e custo baixo, pode ser controlado por qualquer sistema, exceto *Kanban*.

Frequencia	Volume	Custo	Sistema Controle
Alta	Alto	Alto	Kanban
Alta	Alto	Baixo	Kanban Sinal ou 2 Gavetas
Alta	Baixo	Alto	Kanban
Alta	Baixo	Baixo	Kanban Sinal ou 2 Gavetas
Baixa	Alto	Alto	Ordem
Baixa	Alto	Baixo	Ordem/Kanban Sinal ou 2 Gavetas
Baixa	Baixo	Alto	Ordem
Baixa	Baixo	Baixo	Ordem/Kanban Sinal ou 2 Gavetas

Figura 15 – Critérios para definição do sistema de controle

4.3. Dimensionamento dos pulmões e supermercados

Um supermercado é composto de três tipos diferentes de estoque: estoque de ciclo, estoque de pulmão e estoque de segurança. O primeiro tipo se refere a um estoque que varia, ou seja, que não é fixo ao longo do tempo. O segundo é o estoque responsável por amortecer as variações de demanda do cliente. O terceiro é o estoque que vai proteger o supermercado contra problemas internos como paradas, quebras de máquinas, alto tempo de *setup* etc.

4.3.1. Supermercado e número de kanbans

A partir das definições dos tipos de estoque, é possível desenvolver a seguinte fórmula utilizada para dimensionar o tamanho de um supermercado:

$$TS = [(DM + DPd) \times (TPT + LTReposição)] + (DM \times LTSegurança)$$

onde:

- TS – tamanho do supermercado;
- DM – demanda média (diária);
- DPd – desvio padrão da demanda;
- TPT – TPT ou ciclo do pedido (dias): frequência com que se produz o mesmo item;
- LTR – *Lead time* de reposição: tempo entre a sinalização da produção de um item até o momento em que chega no supermercado;
- LTS – *Lead time* de segurança (dias);
- A soma ***TPT + LTR*** de refere ao estoque de ciclo;
- O termo DPd se refere ao estoque pulmão, responsável por amortecer as variações da demanda;
- O Lead Time de Segurança aparece como um termo independente da equação, uma vez que é responsável por proteger o supermercado.

No controle por Kanban, a cor verde se refere ao **TPT ou ciclo do pedido**, a cor amarela se refere ao **tempo de reposição** e o vermelho ao **lead time de segurança**. Para dimensionar quantos cartões serão colocados em cada uma das cores do quadro, utiliza-se os cálculos da Figura 16, onde "tamanho do Kanban" se refere à quantidade de itens que cabe em cada cartão.

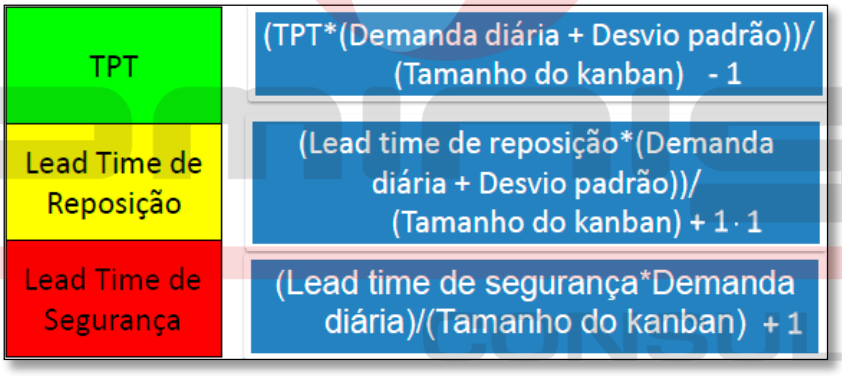

Figura 16 – Dimensionamento do quadro de Kanbans

Para que evitar que a produção seja disparada em período que não seja possível tomar uma ação, transferimos um cartão um Kanban da área verde do quadro para a área vermelha de modo a garantir que o estoque de segurança não tenha acabado quando um cartão for colocado na área vermelha. A quantidade mínima de cartões nas áreas amarela e vermelha do quadro deve ser 1, portanto, caso o cálculo do primeiro termo resulte em algo próximo de 0, deve-se considerar o valor 1 no momento de continuar o cálculo.

A Figura 17 mostra uma tabela com os cálculos completos relacionados ao que foi apresentado neste tópico. Sugerimos que o leitor faça novamente os cálculos de **número de kanbans** e **tamanho máximo de supermercado** com base nas fórmulas apresentadas de modo a consolidar seu conhecimento. O tamanho máximo de

supermercado é calculado multiplicando o número total de Kanban pelo tamanho do Kanban pois leva em consideração os arredondamentos realizados.

Código	Média diária	Desvio Padrão	Média + desvio	TPT (DIAS)	L.T Reposição (dias)	L.T Segurança (dias)	Tamanho do Kanban	Número de kanbans verdes	Número de kanbans amarelo	Número de kanbans vermelho	Número total de Kanban	Tamanho máximo do supermercado
1001	71	24	95	5	2,0	1,0	150	2	1	2	5	750
1002	42	29	71	5	2,0	1,0	150	1	1	2	4	600
1003	16	6	22	5	2,0	1,0	150	0	1	2	3	450
1012	33	14	47	5	2,0	1,0	150	1	1	2	4	600
1013	13	9	21	5	2,0	1,0	70	1	1	2	4	280
1014	37	11	48	5	2,0	1,0	150	1	1	2	4	600
1034	25	7	32	5	2,0	1,0	150	0	1	2	3	450
1035	21	7	28	5	2,0	1,0	150	0	1	2	3	450
1040	11	7	18	5	2,0	1,0	50	1	1	2	4	200
1069	15	6	20	5	2,0	1,0	70	0	1	2	3	210
2126	109	41	150	5	2,0	1,0	200	3	2	2	7	1400
2127	233	31	264	5	2,0	1,0	400	2	1	2	5	2000
2130	65	25	90	5	2,0	1,0	150	2	1	2	5	750
2303	82	52	134	5	2,0	1,0	150	3	2	2	7	1050
2306	95	60	155	5	2,0	1,0	150	4	2	2	8	1200

Figura 17 – Exemplo de dimensionamento de supermercado e Kanbans

4.3.2. Duas Gavetas

Para dimensionar o supermercado com o controle de 2 gavetas, utilizamos a seguinte fórmula:

$$TS = (DM + DPd) \times [máx\ (TPT; LTReposição + LTSegurança)]$$

onde:

- máx() – função máximo, deve-se considerar o maior valor entre os dois indicados.

Ao se considerar o maior valor, ocorre um superdimensionamento do estoque, de modo a garantir que o estoque possa atender o pior caso.

4.3.3. Cálculo do TPT

O **TPT** (“toda parte toda”) é a frequência com que uma família de peças é produzida, ou seja, a frequência de entrega de um item. Os seguintes fatores causam aumento no TPT:

- Altos tempos de *setup*;
  - Quando o *setup* é demorado, aumenta-se a dificuldade em produzir itens diferentes várias vezes.
- TPT alto no processo cliente, que pode interno ou externo;
  - Como a produção é puxada, o processo que consome os lotes dita o TPT do processo fornecedor. O TPT do processo cliente deve ser sempre menor do que o do processo fornecedor.
- Limitações de tamanho de lote:

  - Existem máquinas diferentes que exigem tamanhos mínimos de lotes diferentes, portanto, essa limitação influencia no TPT.

Os critérios para a definição do TPT são:

- Geral:
  - TPT tentativa – Por tentativa, verificar qual o TPT que mais se adequa à produção;
- Processos internos:
  - Capacidade do recurso gargalo de realizar *setup*;
- Processos externos:
  - Capacidade de transporte;
  - Lote mínimo de fornecimento;
  - Lote mínimo de fornada;
  - Demanda do cliente (cliente final ou processo posterior).

Definidos os critérios, os seguintes passos devem ser realizados para o cálculo do TPT:

- Identificar o processo gargalo do loop (processo com restrição);
  - São processos que podem ser identificados por:
    - Tempos de ciclo ou *setup* mais altos entre os processos;
    - Estoques realizados antes do processo;
    - Deficiência de abastecimento aos processos posteriores;
    - Quando não se sabe claramente qual o processo gargalo da produção, deve-se calcular o TPT para todos eles e considerar o maior.
- Levantar a demanda média das peças;
  - Listar todos os *part number* que utilizam o processo em questão;
  - Recomenda-se trabalhar com um horizonte de tempo de três meses;
  - Calcular a demanda média mensal do período adotado.
- Levantar os tempos de ciclo e de setup de todas as peças no gargalo;
- Calcular o tempo total de processamento (Demanda média mensal **x** tempo de processamento unitário);
- Levantar tempo disponível do processo gargalo (exemplo na Figura 18).

Turnos	1
Horas por turno	8
Dias úteis	20
Máquinas	1
Eficiência	85%
Tempo disponível (horas)	**136**

Figura 18 – Exemplo de cálculo do tempo disponível do processo gargalo

A Figura 19 mostra uma tabela que exemplifica o cálculo do TPT baseado nos passos apresentados. As colunas onde foram feitos cálculos estão divididas e indicam qual fórmula foi utilizada. Através da tabela, conclui-se que é possível produzir a mesma peça em um intervalo de 5 dias. Além disso, o cliente nunca deve puxar um lote com TPT maior do que o da produção.

Código	Demanda Mensal	Tempo Ciclo (min)	Setup (min)	Tempo de Processamento do lote (min)	Tempo disponível (horas/mês)	Tempo Total de Processamento (horas)	Tempo Disponível para Setup (horas)	Tempo Total Utilizado para Setup (horas)	Número Total de Setup no mês	TPT (dias)
A	110	3	60	330	136	76	60	15	4	5
B	22	2	60	44						
C	26	6	60	156						
D	72	4	60	288						
E	65	10	60	650						
F	70	10	60	700						
G	64	5	60	320		Soma dos tempos de proces samento do lote de cada modelo	(Tempo disponível) - (Tempo total de proces samento)	Soma do tempo de setup de cada modelo	(Tempo disponível para setup) / (Tempo total utilizado para setup)	20/(N° de ciclos de Setup por mês)
H	39	2	60	78						
I	87	2	60	174						
J	32	5	60	160						
K	16	10	60	160						
L	75	10	60	750						
M	14	4	60	56						
N	61	8	60	488						
O	46	4	60	184						

Figura 19 – Exemplo de cálculo do TPT

4.4. Definição das sistemáticas de programação e controle

Nesta etapa, será descrito o funcionamento do quadro Kanban e as maneiras de disparar os itens deste quadro. A Figura 20 mostra um exemplo de quadro Kanban com 5 espaços verdes, 2 amarelos e 1 vermelho; também exibe o que o preenchimento de cada área do quadro significa.

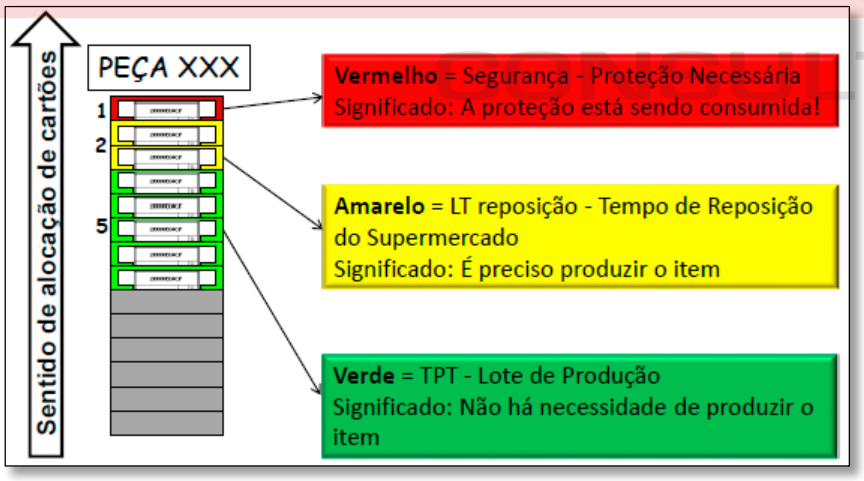

Figura 20 – Exemplo de preenchimento de um quadro Kanban

A reposição de itens se dá de duas maneiras: reposição por **quantidade** constante e reposição por **ciclo** constante.

- Reposição por quantidade constante (Figura 21):
  - Período entre reposições varia com o consumo;
  - Repõe-se sempre a mesma quantidade (volume);
  - No quadro Kanban, a reposição é feita sempre quando for atingida uma quantidade fixa específica de cartões Kanbans.
  - Na ocorrência de diversos itens para reposição, utiliza-se os seguintes critérios de sequenciamento:
    - A indicação de urgência no quadro semáforo;
    - A indicação de consumo iminente por parte do consumidor;
    - Ordem de chegada ao quadro;
    - Atender o menor ou o maior pedido primeiro;
    - Fazer o mais rápido ou o mais demorado primeiro.

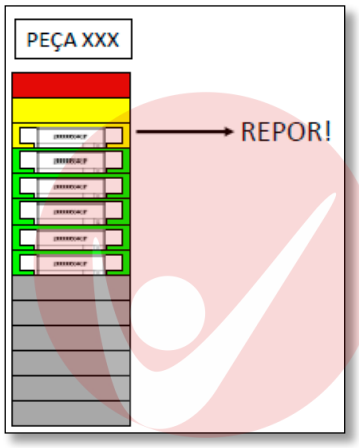

Figura 21 – Reposição por quantidade constante

- Reposição por ciclo constante (Figura 22):
  - A quantidade de itens repostos pode variar;
  - O período entre as reposições é fixo;
  - Neste caso, a troca e o aproveitamento de ferramental pode, e deve, ser tratados como um fator estratégico (peças com dispositivos e ferramentais semelhantes podem ser encaixadas num mesmo período de reposição);
  - Deve continuar prevalecendo o aviso de urgência do quadro semáforo, ou seja, componentes que não estejam programados para um determinado período, mas que estão no vermelho e/ou com perspectiva de consumo pelo processo consumidor, deverão ser produzidos imediatamente.

Hominiss CONSULTING

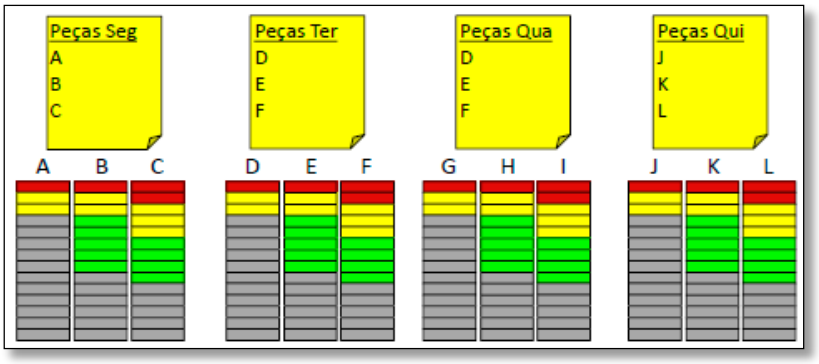

Figura 22 – Reposição por ciclo constante

4.4.1. Exemplo: simulação sistema puxado

Exemplificaremos um sistema puxado que possui as seguintes características:

- TPT: 5 dias;
- Lead time de reposição: 3 dias;
- Lead time de segurança: 2 dias;
- Demanda diária: 10 peças;
- Desvio padrão: 0;
- Tamanho do kanban: 10 peças.

Com esses dados temos o quadro de Kanban com 4 espaços verdes, 3 espaços amarelos e 3 espaços vermelhos. A Figura 23 ilustra a dinâmica da produção e utilização do quadro para este exemplo ao longo do tempo.

Quando o quadro *Kanban* entra no amarelo, dispara-se o pedido de produção e, após 3 dias, o pedido chega novamente ao supermercado. Nesse caso, a reposição ocorreria no mesmo dia independentemente se o tipo do *Kanban* fosse ciclo constante ou lote constante, pois o TPT coincide com o quadro no amarelo.

Após a primeira reposição, o supermercado entra em regime. Isso significa que, se não houver nenhum problema de variação de demanda, quebra de máquina ou atraso de produção, o supermercado continuará no mesmo ritmo.

Depois de entrar em regime, o tamanho máximo do supermercado, neste caso, é 7. Esse tamanho diz respeito à quantidade máxima de itens que o supermercado terá em regime e é a soma do estoque de segurança + lote do TPT.

O tamanho mínimo do supermercado é a menor quantidade de itens que deve ficar neste e equivale ao *lead time* de segurança. Se não houver nenhum tipo de atraso ou imprevisto na produção, o estoque de segurança deve permanecer intacto.

O tamanho médio do supermercado se à média entre o estoque mínimo e máximo, ou seja, à soma do tamanho máximo (7) mais o tamanho mínimo (2) dividido por 2 resultando em 4,5.

Percebe-se no quadro que, no estoque máximo, após o regime, nunca se tem mais que 7 itens. Isso ocorre por conta do *lead time* de reposição, que é de 3 dias, ou seja, 3 dias do estoque que estão em processamento e não estão no supermercado.

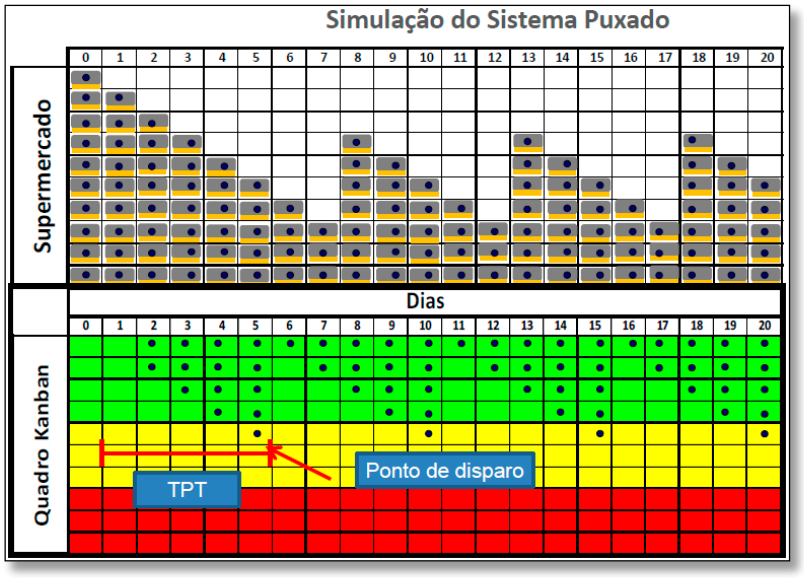

Figura 23 – Exemplo: simulação do sistema puxado

4.5. Flexibilização dos fluxos puxados

Neste tópico, abordaremos questões relacionadas à variação de demanda. Ao longo de um ano, por exemplo, a demanda de um cliente pode variar e, como consequência, o *takt time* também. Com isso, a célula deve ser balanceada novamente e os supermercados devem ser redimensionados para atender essa nova demanda.

Existem duas técnicas que podem ser utilizadas para o redimensionamento dos supermercados: **acrescentar ou retirar Kanbans** ou **variar a quantidade itens do Kanban**.

Em um cenário de redução da demanda, temos as seguintes opções:

- Na primeira técnica, quando o cartão é disparado, ele é simplesmente retirado de circulação.
- Na segunda técnica, diminui-se a quantidade de itens por cartão assim que o cartão é disparado, de modo que, no momento de produção para reposição, a quantidade de itens do cartão é alterada e ele é retornado para o supermercado.

Já em um cenário onde ocorre o aumento da demanda, temos:

- Na primeira técnica, quando um cartão é disparado, adiciona-se mais um, fazendo com que a produção de itens retornará 2 cartões ao supermercado.
- Na segunda técnica, aumenta-se a quantidade de itens de cada cartão quando estes são disparados para o quadro. Quando o cartão retorna, já está com a nova quantidade de itens.

A melhor maneira para redimensionar supermercados é a **adição ou remoção de cartões**, pois é a técnica que possui resposta mais rápida. Como a alteração de itens por

cartão necessita que todos os cartões sejam disparados, a adição ou remoção de cartões necessita apenas que um cartão seja disparado. Entretanto, devemos nos atentar para uma particularidade: quando se tem um item controlado por 2 gavetas, o redimensionamento fica restrito à **adição ou remoção de itens por cartão**, uma vez que a quantidade de cartão é limitada, ou seja, 2 cartões pois são 2 gavetas.

O intervalo de tempo recomendado para realizar a análise de redimensionamento do supermercado é de 3 meses. Algumas empresas que possuem alguma particularidade podem ter a necessidade de realizar esse redimensionamento com mais frequência, caso contrário, 3 meses é uma boa referência.

4.6. Programação e nivelamento do processo puxador

O processo puxador é o primeiro processo após o último supermercado, ou seja, todos os processos seguintes estão em fluxo contínuo (Figura 24). Quando não há supermercado antes do processo puxador, dizemos que existe um sistema puxado sequencial, onde se produz exatamente o que foi pedido (Figura 25).

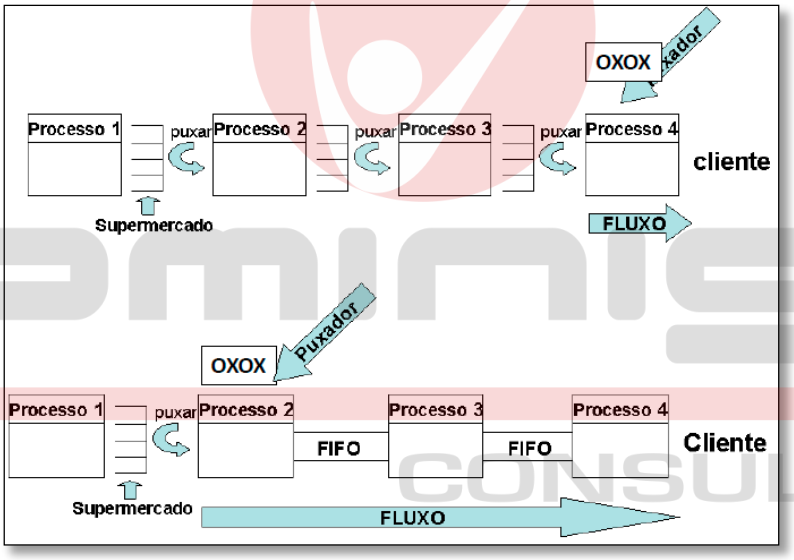

Figura 24 – Exemplos de processo puxador

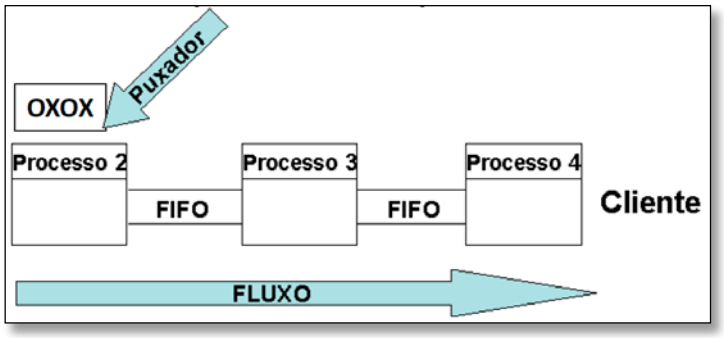

Figura 25 – Sistema Puxado Sequencial

As sistemáticas comumente utilizadas para programação de fluxos sob encomenda (MTO – *Make to Order*) são:

- **Lote a lote**: os lotes são dimensionados estritamente de acordo com cada demanda em cada período. Problema: alta quantidade de *setup*, que pode estar acima da capacidade da fábrica de fazer setups.
- **Lotes Fixos**: os lotes de itens fabricados serão normalmente baseados em algum critério ponderado por custos de preparação (*setup*) contra custos de manutenção de estoques (lote econômico). Também conhecido como lote padrão. Problema: não contempla a capacidade produtiva, pois está ligado apenas à otimização de *setups*.

A sistemática de programação mais alinhada com a filosofia *lean* é de **lote a intervalo fixo**, ou seja, o TPT. Nessa abordagem, calculamos o TPT para todos os itens, sejam eles controlados por ordem ou kanban. Os lotes das ordens de produção podem ser tanto "quebrados" em ordens parciais quanto agrupados em tamanhos proporcionais ao TPT calculado para o fluxo em questão.

4.6.1. Programação do processo puxador

A programação do processo puxador é feita através da *heijunka box* e é feita de acordo com o *pitch*. Para isso, utiliza-se o modelo da Figura 26, que consiste de cartões que sinalizam a quantidade de *pitchs* que cada produto necessita pra ser produzido. Esse quadro também serve para sinalizar se a produção está adiantada ou atrasada em relação ao que foi programado.

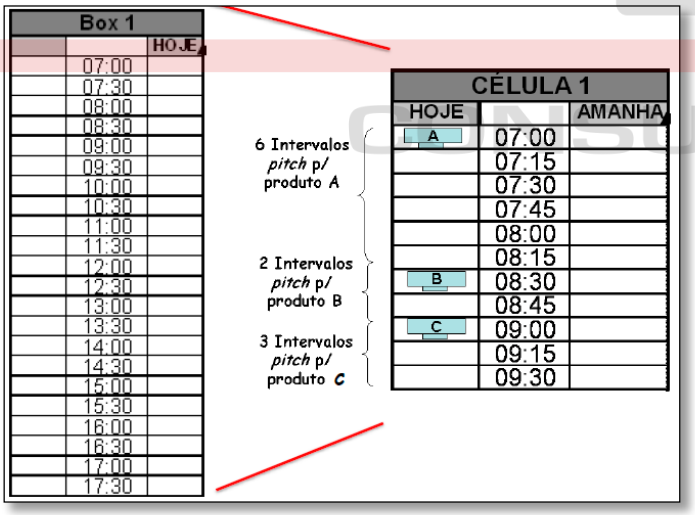

Figura 26 – Exemplo de programação do processo puxador por pitch

4.6.2. Criação de rotina de busca contínua de nivelamento da demanda

A variação na demanda gera desperdício e sobrecarga (efeito chicote). Por isso, é importante que se busque criar rotinas para o nivelamento desta demanda. Figura 27 ilustra os problemas gerados pela oscilação da demanda.

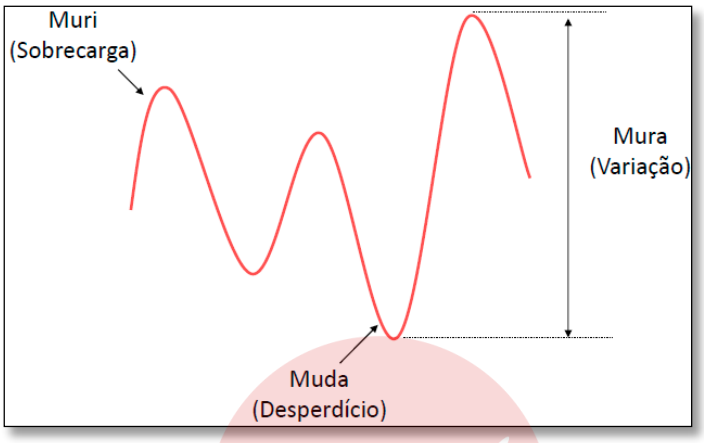

Figura 27 – Problema: variação da demanda

Os supermercados existem para absorver as variações da demanda. Porém, a questão é o quanto eles devem absorver. Afinal de contas, inventário em excesso é sinal de superprodução. Portanto, deve-se buscar eliminar as variações de modo a reduzir o tamanho dos supermercados. Quanto menor a variação de demanda, menor o desvio padrão e, consequentemente, menor o estoque pulmão e o supermercado.

Uma demanda desnivelada gera impactos como:

- Estoques elevados;
- Sobrecarga e ociosidade para pessoas e ativos;
- Custos com hora extra nos picos de demanda;
- Mudanças e atrasos nos pedidos.

Para evitar esses impactos, é importante:

- Orientar e treinar os operadores de modo a evitar disparos atrasados ou antecipados de cartões para evitar desnivelamento interno;
  - Operador dispara cartão antes da data ou antes de chegar ao nível exigido;
  - Operador produz um pouco a mais que o necessário, gastando recursos desnecessariamente para superprodução;
  - Processo adiantado e ocioso consumindo mais do que deveria, fazendo estoques de produto acabado.
- Construir uma máscara de nivelamento de vendas, criando uma força tarefa juntamente com a área comercial;
  - A área comercial deve saber o que pode ser produzido, o tamanho do supermercado e o que ele pode vender de cada item.

- Como solução, em vez de a área de vendas negociar com o mercado para então passar as informações para que o PCP passe para a fábrica, deve-se realizar uma programação com *Heijunka.* Com isso, vendas planeja juntamente com o PCP para que se possa saber o quanto é possível vender de modo que a fábrica sofra pouca influência da variação de demanda.
- Identifique o comportamento real da demanda e tente colocar os pedidos de forma nivelada.

- Combater a sazonalidade ao desenvolver novos produtos e novos mercados;
  - Se existe algum produto que não tem demanda estável no ano, deve-se buscar aumentar o *mix* de produtos para ocupar períodos com baixa demanda, além de buscar mercados diferentes para estes produtos de modo a compensar a variação da sazonalidade.
- Adotar uma política para programação de pedidos especiais, como por exemplo exportações ou qualquer pedido não previsto;
  - Não há a necessidade de redimensionar a produção por causa de apenas um pedido, este deve ser tratado individualmente e manter-se a produção.
- Combater as metas de vendas que promovam picos e vales na demanda:
  - Promoções que estimulam vendas devem estar "integradas" com o planejamento, programações e limitações da fábrica;
  - Distribuir as metas de vendas ao longo do mês;
  - Elaborar políticas de descontos que estimulem pedidos regulares.
- Integrar o cliente ao sistema *lean*, ou seja, encurte as distâncias entre a empresa e o cliente.

A Figura 28 mostra como essa máscara de nivelamento de vendas pode auxiliar na produção, atenuando a variação da demanda do ponto de vista da produção.

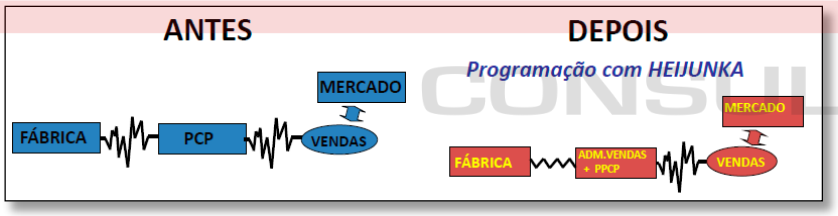

Figura 28 – Impacto do Heijunka Box na variação da demanda

4.7. Regras finais

Por fim, algumas regras básicas que resumem o que foi tratado neste capítulo:

- Respeitar o ciclo TPT;
- Não produzir peças sem cartão;
- Produzir sempre a quantidade indicada no cartão;
- Respeitar o FIFO entre os processos e no supermercado;
- Nunca disparar cartão sem o contenedor estar vazio;

- Colocar o cartão imediatamente no posto de recolhimento após o término das peças do contenedor.

Hominiss CONSULTING