

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR GUSTAVO GUIMARÃES
TARDIN E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 27 / 07 / 04.

Paulo C. Lima
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

O Sistema Puxado e o Nivelamento da Produção

Autor: **Gustavo Guimarães Tardin**
Orientador: **Paulo Corrêa Lima**

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

O Sistema Puxado e o Nivelamento da Produção

Autor: Gustavo Guimarães Tardin
Orientador: Paulo Corrêa Lima

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Materiais e Fabricação

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 27 de julho de 2001
S.P. – Brasil

UNIDADE Be
Nº CHAMAD. T/UNICAMP
T.173A
V. 1
TOMBO BC/ 48874
PROC. 16-837102
C. 1
PREÇO RS 11,00
DATA 08/05/02
Nº CPID

CM00167140-3

B ID 239273

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

T173A

Tardin, Gustavo Guimarães

O sistema puxado e o nivelamento da produção /
Gustavo Guimarães Tardin.--Campinas, SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Paulo Corrêa Lima.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Engenharia de produção. 2. Controle de produção.
3. Just-in-time. I. Lima, Paulo Corrêa. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Mecânica. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

O Sistema Puxado e o Nivelamento da Produção

Autor: **Gustavo Guimarães Tardin**

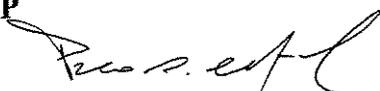
Orientador: **Paulo Corrêa Lima**



**Prof. Dr. Paulo Corrêa Lima, Presidente
UNICAMP**



**Prof. Dr. Eugênio Zoqui
UNICAMP**



**Prof. Dr. Paulo A. Cauchick Miguel
UNIMEP**

Campinas, 27 de julho de 2001

200219634

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus amores Érica e Giovana.

Agradecimentos

A minha querida esposa, Érica, por todo amor, carinho e paciência. Agradeço a nossa filha Giovana pelas alegrias, e silêncio nos momentos cruciais.

Aos meus familiares por todo o incentivo e apoio. Agradeço a minha mãe, meu pai e meus irmãos por sempre me fazerem ser o melhor que posso.

Ao professor Paulo Lima pela orientação dentro e fora da faculdade.

Aos meus amigos por toda a torcida.

À Visteon Sistemas Automotivos por sua disposição e coragem em buscar a melhoria contínua. Agradeço em especial a Valmir Silva e à Priscilla Sampaio por todo o esforço em fazer este trabalho dar certo.

Finalmente, agradeço aos meus colegas e professores do departamento por todos os ensinamentos durante estes anos.

“When you can't flow you pull”

James Womack

Índice

Dedicatória		iii
Agradecimentos		iv
Índice		vi
Resumo		ix
Abstract		x
Lista de Figuras		xi
Lista de Tabelas		xiii
Lista de Gráficos		xv
Nomenclatura		xvi
Capítulo 1	Introdução	1
1.1	Objetivos do trabalho	2
1.2	Conteúdo do trabalho	3
Capítulo 2	Kanban e Nivelamento da Produção	5
2.1	Conceito de <i>Just-in-Time</i>	5
2.2	Produção Empurrada e Puxada	10
2.2.1	Produção Empurrada – MRP	10
2.2.2	Produção Puxada	12
2.2.3	Comparando a produção puxada com a empurrada	15
2.3	O Sistema Kanban	16
2.3.1	Regras do Kanban	16

2.3.2	Tipos de kanban	18
2.3.3	A Dinâmica do Sistema	18
2.3.4	Sequência de produção	23
2.3.5	Escolhendo o ponto de puxar	24
2.3.6	Como calcular o número de kanbans	25
2.3	Nivelamento da Produção	30
2.3.1	Tempo <i>Takt</i>	33
2.3.2	Pré-requisitos para nivelar a produção	34
2.3.3	Quadros de Nivelamento	35
2.4	Considerações Finais	40
Capítulo 3	Método para Determinação do Número de Kanbans	42
3.1	A composição dos supermercados	42
3.2	Fatores que influenciam o tamanho dos estoques	43
3.2.1	Fatores que dependem do processo fornecedor	44
3.2.2	Fatores que dependem do processo cliente	45
3.3	Definição das faixas e do procedimento de utilização do quadro	48
3.4	Dimensionamento das faixas	50
3.4.1	Dimensionamento da Faixa Vermelha	51
3.4.2	Dimensionamento da Faixa Verde	53
3.4.3	Dimensionamento da Faixa Amarela	54
3.5	Apresentação da Planilha de Cálculo de Kanban	56
3.5.1	Exemplo Teórico de Aplicação – Kanban de Produção	56
3.5.2	Exemplo Prático de Aplicação – Kanban de Produção	65
3.6	Cálculo da quantidade de kanbans de retirada	68
3.6.1	Exemplo Teórico de Aplicação – Kanbans de Retirada	70
3.7	Considerações Finais	73

Capítulo 4	Montagem dos Quadros de Nivelamento da Produção	75
4.1	Modelo de Régua de Produção	76
4.1.1	Modelo de Régua Tradicional	77
4.1.2	Modelo de Régua Proposto	82
4.2	Método para o Dimensionamento da Régua de Produção	84
4.2.1	Exemplo Teórico de Aplicação	85
4.2.2	Exemplos Práticos de Aplicação	93
4.3	Considerações Finais	101
Capítulo 5	Conclusões e Recomendações	103
	Referências Bibliográficas	105
	Bibliografia Consultada	110

Resumo

TARDIN, Gustavo Guimarães, *O Sistema Puxado e o Nivelamento da Produção*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 91 p. Dissertação (Mestrado)

Este trabalho apresenta um método completo e prático de aplicação da produção puxada. São apresentados os conceitos de puxar a produção e analisadas as dificuldades de sua implementação, a partir do material encontrado na literatura técnica. Criou-se, baseado nesta análise, um método detalhado para o dimensionamento dos supermercados, contemplando-se neste dimensionamento o impacto do nivelamento da produção. A seguir, apresenta-se um procedimento de controle visual da produção através da utilização dos quadros de kanban, ou quadros de nivelamento da produção e, também, um método de montagem destes quadros. Foram resolvidos exemplos teóricos e casos práticos, considerando diferentes situações encontradas, para validar o método apresentado.

Palavras-Chave

Kanban, Nivelamento da Produção, *Just-in-time*, Produção Puxada, *Heijunka*

Abstract

TARDIN, Gustavo Guimarães, *Pull System and Production Smoothing*, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 91 p. Dissertação (Mestrado)

This work presents a complete and practical method for applying a pull production system. The concepts of pull systems are presented and the difficulties of implementation, based on the material found in the technical literature, are analyzed. Based on that analyzes, a detailed method for dimensioning the supermarkets, considering the impact of the production smoothing, is presented. A procedure for a visual control of the production, using kanban boards, or *heijunka* boxes, and a method for constructing these boards, are also presented. Theoretical and real examples were solved, considering different situations to validate the method developed.

Key Words

Kanban, Production Smoothing, Just-in-time, Pull System, *Heijunka*

Lista de Figuras

Figura 2.1	Fluxos de informação e material na Produção Empurrada	12
Figura 2.2	Fluxos de informação e material na Produção Puxada	13
Figura 2.3	Estoque junto ao cliente	19
Figura 2.4	Colocação dos cartões na caixa de coleta	19
Figura 2.5	Os cartões levados para o quadro de kanban no processo fornecedor	20
Figura 2.6	Material levado para o processo cliente	20
Figura 2.7	Supermercados junto aos dois processos	21
Figura 2.8	Cartões sendo colocados na caixa de coleta	22
Figura 2.9	A compra é feita com os cartões de retirada	22
Figura 2.10	O processo fornecedor tem permissão para produzir, e o cliente continua a consumir	23
Figura 2.11	Modelo de um quadro de nivelamento da produção	35
Figura 2.12	Dinâmica de funcionamento do quadro de nivelamento	37
Figura 2.13	Detalhe A da Ordem de produção com os horários	37
Figura 2.14	Ordem de produção tradicional	38
Figura 3.1	Supermercado dividido em faixas coloridas	43

Figura 4.1	Régua de tempo tradicional	78
Figura 4.2	Régua de tempo tradicional com lotes de produção alterados	78
Figura 4.3	Régua de tempo tradicional com tempos de ciclo diferentes	79
Figura 4.4	Quadro de nivelamento tradicional – caso prático	81
Figura 4.5	Detalhe da régua de produção tradicional – caso prático	81
Figura 4.6	Largura do cartão proporcional ao tempo de produção de cada caixa	82
Figura 4.7	A sequência de produção não altera o tamanho da régua	83
Figura 4.8	Modelo de ordem de produção com horários	84
Figura 4.8	Horários sob a régua de produção	92
Figura 4.10	Leiaute do quadro de nivelamento do exemplo teórico	92
Figura 4.11	Esquema do quadro com os cartões nas cores definidas	93
Figura 4.12	Quadro de nivelamento da produção da linha de bobinas	98
Figura 4.13	Cartões de tamanho diferentes	99
Figura 4.14	Detalhe da régua de produção com os horários	99
Figura 4.15	Quadro da linha de controle de temperatura com o supermercado	100
Figura 4.16	Detalhe da régua de produção do controle de temperatura	101

Lista de Tabelas

Tabela 3.1	Quantidade de gabinetes prontos em estoque para entregar para o cliente	47
Tabela 3.2	Informações sobre o processo fornecedor	57
Tabela 3.3	Informações sobre o processo cliente	57
Tabela 3.4	Informações da demanda e do processo	58
Tabela 3.5	Dados sobre a disponibilidade do processo fornecedor	59
Tabela 3.6	Dados sobre o supermercado	59
Tabela 3.7	Cálculo do número de kanbans (Nivelada)	59
Tabela 3.8	Dados sobre o supermercado	62
Tabela 3.9	Cálculo do número de kanbans (Não Nivelada)	62
Tabela 3.10	Informações sobre o processo fornecedor (bobinas)	66
Tabela 3.11	Informações sobre o processo cliente (bobinas)	66
Tabela 3.12	Informações da demanda e de processo (bobinas)	67
Tabela 3.13	Dados sobre a disponibilidade do processo fornecedor (bobinas)	67
Tabela 3.14	Dados sobre o supermercado (bobinas)	68
Tabela 3.15	Cálculo do número de kanbans (bobinas)	68
Tabela 3.16	Informações sobre o consumo das peças (exemplo)	71
Tabela 3.17	Informações de demanda e cálculo dos cartões (exemplo)	71
Tabela 3.18	Informações de demanda e cálculo dos cartões (exemplo não nivelado)	72

Tabela 4.3	Demanda e comprimento da régua	83
Tabela 4.4	Informações sobre a linha	86
Tabela 4.5	Informações sobre os modelos	86
Tabela 4.6	Calculando a quantidade de pontos por caixa	87
Tabela 4.7	Largura dos cartões	88
Tabela 4.8	Dados de demanda em peças e em pontos	89
Tabela 4.9	Quantidade de cartões de parada por turno	91
Tabela 4.10	Informações sobre a linha de bobinas	94
Tabela 4.11	Informações sobre os modelos da linha de bobinas	94
Tabela 4.12	Calculando a quantidade de pontos por caixa da linha de bobinas	95
Tabela 4.13	Gargalo da linha de bobinas	95
Tabela 4.14	Largura dos cartões de bobinas	96
Tabela 4.15	Dados de demanda em peças e em pontos para bobinas	96
Tabela 4.16	Quantidade de cartões de parada por turno para bobinas	97

Lista de Gráficos

Gráfico 2.1	Nível de estoque não nivelado com uma troca de ferramenta por produto por mês	31
Gráfico 2.2	Nível de estoque nivelado com uma troca de ferramenta por produto a cada 2 horas	32
Gráfico 2.3	Tempos de processos variam de modelo para modelo	38
Gráfico 3.1	Dinâmica de utilização do quadro	49

Nomenclatura

Conwip	<i>Constant Work in process</i>
EKCS	<i>Extended Kanban Control System</i>
FKS	<i>Flexible Kanban System</i>
GKS	<i>Generalized Kanban System</i>
JIT	<i>Just-in-Time</i>
MRP	<i>Material Requirement Planning</i>
RCE	<i>Relatório de Controle de Estoque</i>

Capítulo 1

Introdução

No seu livro *A máquina que mudou o mundo* (1992), Womack e Jones renovam a mensagem do *Just-in-Time* (Bicheno, 2000). O Sistema de Manufatura Enxuta, apresentado por estes autores, tem como objetivos permitir respostas rápidas aos clientes, através da flexibilidade de volume e mix, produzindo produtos de qualidade a baixo custo de produção. A maneira de se atingir isto é através da eliminação de desperdícios e criação de valor ao longo da cadeia produtiva.

O *Just-in-Time* é um dos pilares da Manufatura Enxuta. Seu objetivo é a eliminação dos desperdícios. Esta filosofia, ou estratégia, de produção nasceu na Toyota Motor Company na década de 60. Nesta época, a pequena demanda por veículos, no Japão, exigia da empresa um sistema de produção diferente do sistema de produção em massa. Este sistema de produção foi criado a partir da identificação dos desperdícios pertinentes à produção e da criação de uma série de ferramentas para combatê-los.

A maior fonte de desperdício identificada foi o excesso de produção. Trata-se de produzir antes, mais rápido, ou mais do que é requerido pelo cliente. Quando se faz isto, as máquinas estão sempre ocupadas. Estão sempre gastando matéria-prima e energia. Estão ocupando as pessoas. O material em excesso deve ser estocado, ocupando área. Os defeitos são descobertos muito tempo depois de produzidos. Finalmente, os pedidos urgentes devem esperar as máquinas acabarem de produzir o que estão fazendo.

Existem duas técnicas que, se combinadas, minimizam este desperdício. Trata-se da produção puxada e da produção nivelada. Segundo Womack e Jones (1998), em termos simples, a produção puxada significa que um processo inicial não deve produzir um bem ou um serviço até que o processo seguinte não o solicite. A maneira mais difundida de se aplicar esta técnica é através do Sistema Kanban. Nivelar a produção significa produzir todos os itens dentro de curtos intervalos de tempo. Quando se consegue fazer isto, consegue-se atender os clientes prontamente, produzindo a quantidade exata pedida, sem excesso de produção.

O Sistema Kanban é conhecido pela maioria das empresas, e seus benefícios são claros para elas. Entretanto, são poucas as empresas que conseguem aplicar este sistema com sucesso. Muitas empresas colocam o sistema para funcionar e tempos depois voltam a programar sua produção da maneira convencional, isto é, baseada na previsão de demanda. Isto decorre do fato de que não se encontram, na literatura, trabalhos que apresentem um método completo de aplicação da produção puxada. Isto significa calcular o número de kanbans, definir a estrutura do quadro kanban e definir como estes cartões disparam o processo de produção.

Quando o Sistema Kanban é combinado com o nivelamento da produção, os estoques de matéria-prima, material em processo, e produtos acabados, podem ser bem menores. Com isto a empresa pode diminuir o tempo de resposta para o cliente, sem precisar manter grandes quantidades de material em estoque, o que acarreta os custos relacionados com o excesso de produção. Novamente, não se encontraram, na literatura pesquisada, trabalhos que relacionassem as duas técnicas.

Deste modo, constatou-se que existe espaço para discutir um método mais prático de aplicação da produção puxada, relacionando-o com o nivelamento da produção. Este será o foco deste trabalho.

1.1 Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como objetivos:

- ✓ Desenvolver um método para implementação da produção puxada;

- ✓ Definir a composição dos supermercados, intermediários ou finais, quando existe a necessidade de se controlar a produção entre fluxos;
- ✓ Apresentar um método para o dimensionamento das quantidades de cartões kanban;
- ✓ Desenvolver um modelo de quadro de nivelamento da produção, para viabilizar a programação da produção no chão-de-fábrica em diferentes situações.

1.2 Conteúdo do trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. O conteúdo de cada capítulo é apresentado a seguir.

O Capítulo 1 introduz os principais conceitos de Manufatura Enxuta e *Just-in-Time*. Em seguida, discute-se a produção puxada e o nivelamento da produção como formas de atingir estes objetivos. Por fim, evidenciam-se as lacunas existentes na literatura técnica para estudos sobre estes dois temas.

O Capítulo 2 apresenta os principais conceitos e ferramentas para se atingir a produção *Just-in-Time*. O Sistema Kanban é discutido como a forma mais simples de aplicação da produção puxada. A dinâmica do sistema é apresentada em detalhes. Também é discutido neste capítulo o nivelamento da produção. O seu significado e impacto no dimensionamento dos supermercados são evidenciados. Os quadros de nivelamento da produção são apresentados como uma ferramenta complementar ao Sistema Kanban. Durante este capítulo são, ainda, ressaltadas as dificuldades de se aplicar estas duas ferramentas com base nas informações encontradas na literatura técnica.

O Capítulo 3 apresenta um novo método de dimensionamento de supermercados, e de cálculo da quantidade de cartões Kanban, que foi desenvolvido neste trabalho para preencher as lacunas encontradas na literatura. Faz-se uma definição clara dos elementos que compõem os supermercados. Depois disso, é apresentado um método para o cálculo das quantidades de kanbans que considera o nivelamento da produção. São apresentados exemplos para reforçar a aplicabilidade deste método.

No Capítulo 4 apresenta-se um modelo de quadro de nivelamento da produção e o método de dimensionamento associado. Este modelo de quadro se aplica a diversas situações encontradas nas empresas. São mostrados os quadros de nivelamento para os exemplos do Capítulo 3 e algumas situações adicionais para enriquecer a análise de sua aplicação.

O Capítulo 5 conclui o trabalho lembrando os objetivos propostos no Capítulo 1 e comparando-os com os resultados atingidos. São feitas algumas sugestões para futuros estudos.

Capítulo 2

Kanban e Nivelamento da Produção

O presente capítulo apresenta dois dos principais elementos da produção *Just-in-Time*, a produção puxada e a produção nivelada. Primeiramente, discutem-se os objetivos do *JIT*, e como eles estão relacionados com estes dois elementos.

A seguir, explicam-se os princípios e o funcionamento da mais popular maneira de se puxar a produção, o Sistema Kanban. Além disto, faz-se uma análise das diversas maneiras, encontradas na literatura, de se dimensionar o número de kanbans.

Discute-se, também, o nivelamento da produção. Seu significado, benefícios de sua aplicação, e como ele se relaciona ao Sistema Kanban. Ao final do capítulo são apresentados os quadros de nivelamento da produção e a maneira como são utilizados e construídos.

2.1 Conceito de *Just-in-Time*

Existe muita controvérsia a respeito da definição de *Just-in-Time*. Desde as primeiras publicações que discutiram o tema, sempre se tentou defini-lo em poucas palavras. Entretanto, Keller e Kazazi (1993), depois de pesquisarem mais de 400 artigos sobre o tema, chegaram à conclusão de que há pouco consenso sobre uma definição clara para *JIT*. Hallinah et al. (1997) discutiram as fontes de confusão entre as diversas definições dos autores. Segundo eles, o problema começa pela definição do que é o *JIT*, se é uma filosofia, uma metodologia, um

objetivo, ou um punhado de ferramentas. Outros pontos em que os autores não conseguem concordar são relacionados às áreas de abrangência, terminologia, e ao método de controle da produção.

Então, ao invés de se tentar definir brevemente o que é *Just-in-Time*, é melhor entender a sua origem. Ele nasceu na *Toyota Motor Company* no início da década de 60. A empresa decidiu que, para o reduzido mercado automobilístico japonês, o sistema de produção em massa não era adequado (Nakamura et al., 1998). Eles precisavam de um sistema que lhes permitisse produzir baixos volumes e fazer frequentes mudanças no produto.

Por volta de 1937, Taiichi Ohno, um funcionário desta empresa, surpreendeu-se com o fato de que eram necessários nove operários japoneses para fazer o mesmo trabalho de um funcionário norte-americano (Bicheno, 2000). A partir desta constatação, desenvolveu-se a filosofia do Sistema Toyota de Produção: melhoria contínua através da eliminação de desperdícios. Este funcionário da Toyota foi o primeiro a identificar as fontes de desperdício que se tornaram universais para a manufatura. Foi ele quem, mais tarde, montou o Sistema Toyota de Produção. Nicholas (1998) e Bicheno (2000) descrevem os desperdícios identificados pela Toyota:

- i. Desperdício de Inventário Excessivo: inventário acarreta uma série de custos, como espaço, manuseio, custos de organização, seguro e segurança. Além disso, é dinheiro que poderia ser usado em algo realmente importante. Sobre o inventário se pagam juros. Finalmente, inventário atrapalha a detecção de outros tipos de problemas.
- ii. Desperdício relacionado ao Excesso de Produção: Ohno considera a pior fonte de desperdício. Produzir antes, mais rápido, ou mais do que é requerido pelo cliente é prejudicial para a empresa. Até que os itens sejam pedidos pelo cliente, estarão associados os custos de inventário, que já comentamos. Além disso, as empresas acabam desperdiçando componentes comuns que depois lhes farão falta. As máquinas estão sempre produzindo e não há tempo para fazer manutenção. Cria-se um clima de correria que acaba resultando em produtos defeituosos.
- iii. Desperdício em Produzir Defeitos: é uma das maiores fontes de desperdício. Defeitos descobertos nos clientes incluem custos de reposição, indenização, afastamento de futuros

clientes e perda dos atuais. Os itens que não têm reparo são descartados e o material, a mão-de-obra e recursos não voltam mais.

- iv. Desperdício com Transportes e Manuseio: normalmente, como os produtos não são trabalhados enquanto estão sendo transportados, não se está agregando valor a eles. A mão-de-obra, os equipamentos e o sistema para controlar estas atividades são um gasto que pode ser minimizado.
- v. Desperdícios de Espera: esperar as ordens de produção, informações, peças de processos anteriores, componentes, mecânicos consertarem equipamentos, são fontes de desperdício. Operadores assistindo ao ciclo automático das máquinas também é uma grande fonte de desperdício.
- vi. Desperdício no Processo: são desperdícios relacionados a operações que são ineficientes ou desnecessárias. Pode-se estar com os equipamentos impróprios para aquela operação ou para aquela demanda. Ter estes equipamentos é desperdício.
- vii. Desperdício da Mão-de-Obra: são aquelas ações que os funcionários fazem que poderiam ser evitadas. Podem ser relacionadas ao projeto do posto de trabalho, que obrigam o operador a se contorcer para produzir. Podem ser problemas de organização e de método, como por exemplo: buscar ferramentas, procurar, escolher, fazer a carga e a descarga da máquina.

A principal meta de um fabricante é entregar sua mercadoria com qualidade aos consumidores, com pequeno tempo de espera e a um preço razoável (Huang et al., 1998). Caso ele não possa fazê-lo, outro o fará.

O objetivo do *Just-in-Time*, que é um dos pilares da Manufatura Enxuta, é eliminar as operações que não agregam valor. Womack e Jones (1998) dividem as atividades numa fábrica em três tipos: as que agregam valor, as que não agregam valor, e as que não agregam valor, mas são necessárias. A meta a buscar é que nada deverá ser feito na produção que não adicione valor ao produto diretamente associado com a transformação do material a sua forma desejada (Ohno, 1997).

As principais técnicas para se atingir este objetivo são as seguintes, segundo Nicholas (1998), Bicheno (2000) e Keller e Kazazi (1993):

Simplificação: simplificar produtos e processos, e padronizar componentes reduzem os desperdícios no processo, tais como testes. Diminuem desperdícios de mão-de-obra, tais como o posicionamento da peça e ajuste das ferramentas. Por fim, diminuem os desperdícios relativos à produção de defeitos.

Limpeza e Organização: num ambiente limpo e organizado os operadores não perdem tempo com atividades que não agregam valor ao produto, como: procurar ferramentas, procurar peças, movimentar-se por caminhos mais longos.

Qualidade no Processo: as operações devem ser feitas corretamente para que a qualidade do produto esteja assegurada, diminuindo os custos relacionados à inspeção e retrabalho.

Melhoria do Arranjo Físico: a busca de um arranjo físico celular leva a um aproveitamento melhor da mão-de-obra. Com isto, a quantidade de mão-de-obra pode ser adequada ao volume, o abastecimento de material é facilitado e a comunicação entre os operários é aumentada, tornando mais rápida a detecção de defeitos.

Manutenção Preventiva: tem como objetivo diminuir os desperdícios associados à baixa disponibilidade dos equipamentos por motivo de quebra. A confiabilidade dos equipamentos e os tempos de quebra têm de ser reduzidos (Hancock e Zayko, 1998). Quando estas ocorrem, os operadores ficam esperando os equipamentos serem consertados. Depois, este tempo tem de ser compensado, normalmente em hora-extra.

Operários Treinados e Multifuncionais: num ambiente *JIT* os operários têm responsabilidade pela qualidade do produto, e devem estar sempre buscando eliminar desperdícios. Com o arranjo físico organizado de maneira celular, os operários devem ser treinados para operar vários equipamentos diferentes.

Controle Visual: quando as informações são imediatamente vistas por aqueles que precisam delas tem-se uma série de benefícios. Permite-se que os operadores façam seu trabalho com mais facilidade, mais motivados, e ainda elimina-se uma série de controles e planejamentos ineficazes.

Quadros de informação contendo métodos de trabalho padrão, objetivos, indicadores de performance, em conjunto com quadros de comunicação, são ferramentas que facilitam o trabalho no chão-de-fábrica e aumentam o orgulho e satisfação dos operários.

Compras JIT: Comprar pequenas quantidades, só quando necessário, elimina desperdícios de inventário, como espaço, dinheiro imobilizado, juros, controle, etc.

Automação e Autonomia: Colocar dispositivos que trabalham sozinhos e autonomamente, isto é, sem o desperdício da mão-de-obra que não agrega valor.

Redução do Tempo de Preparação (setup): A redução do tempo de preparação na troca de modelos permite a diminuição dos lotes de produção. Assim, diminui-se os estoques intermediários e finais. Ganha-se flexibilidade de entrega para o cliente, porque diminui-se o tempo de passagem. Por fim, ainda traz a vantagem de que, caso o lote tenha algum problema de qualidade que não pôde ser detectado durante a produção, o lote a ser retrabalhado, ou descartado, é menor.

Produção Puxada: A produção deve ser feita de acordo com o pedido real do cliente, e não de acordo com a previsão de consumo dele. Isto porque, na maioria das vezes, estes dois não são iguais, o que acarreta inventário e excesso de produção, que trazem os prejuízos que mencionamos anteriormente.

Produção Nivelada: Quando os tempos de preparação de equipamentos são reduzidos, os lotes ficam menores. Neste instante, pode-se buscar produzir conforme a demanda do cliente. Nivelando a produção têm-se reduções significativas de inventário, tanto de matéria-prima, como de produtos acabados. A produção nivelada é uma das condições fundamentais para o melhor funcionamento da produção puxada.

O *Just-in-Time* encoraja a administração a resolver os problemas ao invés de encobri-los com estoques em excesso, estoques de segurança e longos tempos de passagem (*lead time*). A fim de alcançar a meta estabelecida, os gerentes devem eliminar refugos e as avarias nas máquinas, reduzir o tamanho dos lotes e os tempos de preparação. O trabalho em equipe, tanto dentro da

fábrica quanto com os fornecedores externos, deve ser feito com o mesmo afincio. A negociação com os fornecedores externos deve levar em conta a qualidade dos materiais e produtos que eles fornecem, as quantidades e frequência de entrega, bem como o tamanho das caixas em que vêm os produtos.

Algumas das técnicas descritas acima trazem aumento imediato de produtividade, como a introdução de manutenção preventiva, limpeza e organização. Outras técnicas requerem um esforço maior para que os resultados tenham impacto na produtividade. Li e Barnes (2000) investigam, através de simulação, a performance de um sistema que aplica produção puxada e arranjo físico celular. Os autores concluem que quando o tempo de preparação é baixo, estas duas estratégias, juntas, trazem redução de estoques.

A produção puxada e a produção nivelada são dois importantes pontos do *JIT*. Elas serão estudadas com mais profundidade a seguir.

2.2 Produção Empurrada e Puxada

Um processo de manufatura que envolva numerosas etapas necessita de sincronismo entre estas. Os componentes produzidos em determinados estágios do processo devem chegar aos processos clientes nas quantidades e instantes corretos. Os processos de produção com vários estágios podem ser classificados em dois tipos: sistemas de empurrar (MRP) e sistemas de puxar produção (Huang et al., 1998).

2.2.1 Produção Empurrada – MRP

O MRP, sigla para *Material Requirement Planning*, ou Planejamento das Necessidades de Material, é uma técnica para converter a previsão de demanda de um item de demanda independente em uma programação das necessidades das partes componentes do item. Entende-se por demanda independente quando a demanda de um item depende diretamente das forças do mercado e demanda dependente é quando um item tem sua demanda dependente da de outro produto (Moreira, 1993).

Na operação do MRP existem alguns requisitos básicos: O Plano Mestre de Produção estabelece que produtos serão feitos, em que datas e em que quantidades; a Lista de Materiais, que fornece a composição de cada produto, ou seja, dá a base para a sua “explosão”; e finalmente os Relatórios de Controle de Estoque que dizem quais as quantidades eventualmente remanescentes de cada um dos itens, sejam eles produtos finais ou componentes.

O Plano Mestre de Produção é uma composição entre previsão de demanda, carteira de pedidos de clientes, necessidades de estoques de segurança, demandas de armazéns de distribuição, etc. O horizonte de tempo coberto por este Plano é variável, indo de poucas semanas até seis meses ou mesmo um ano.

A Lista de Materiais de um produto final é a lista estruturada de todos os componentes desse produto. Ela mostra a relação hierárquica entre o produto e seus componentes.

Os RCEs são fundamentais para o bom funcionamento do sistema, pois é baseado neles que são geradas as necessidades de produção de cada estágio, podendo ocorrer excesso ou falta de material, dependendo do erro dos relatórios.

A dinâmica de processamento do MRP parte da quantidade desejada de um produto final numa data especificada, informações provenientes do Plano Mestre de Produção. A partir daí faz-se a explosão do produto nas necessidades dos componentes, com a devida defasagem de tempo. É preciso saber quanto tempo cada etapa leva para montar os subconjuntos e conjuntos para se chegar ao produto final (Moreira, 1993).

Num sistema de empurrar, a programação de produção baseia-se em estimativas de tempo e, como foi escrito anteriormente, em uma previsão de demanda e relatórios de estoque. Essa programação é, então, feita por uma central de programadores que recebem os pedidos com antecedência, e, a seguir, programam os estágios do processo que os transformarão baseados nos relatórios de estoques. Cada um destes estágios recebe a informação da sequência de pedidos e o tamanho dos lotes. Caso ocorra algum problema em algum ponto da cadeia produtiva, a sequência deve ser alterada. Na figura 2.1, mostra-se, de maneira esquemática, o fluxo de informações e de material.

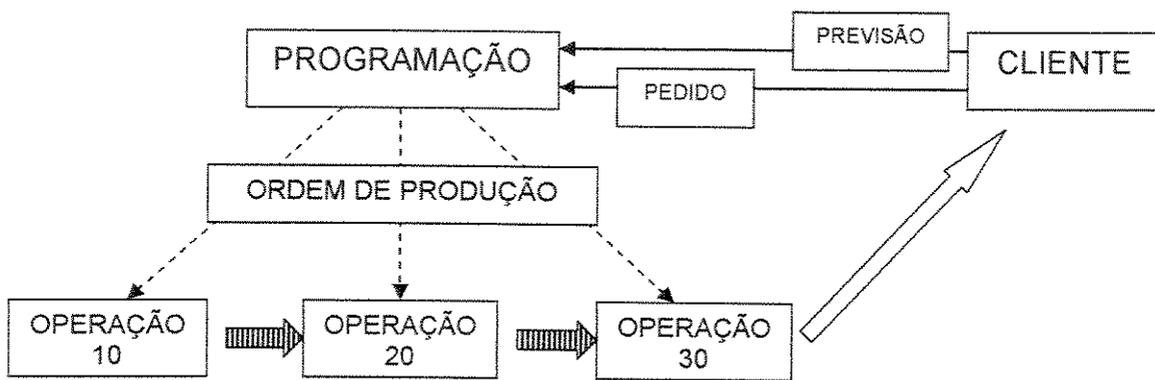


Figura 2.1: Fluxos de informação e material na Produção Empurrada.

Em fábricas em que a produção é controlada desta maneira, é comum se ter vários pedidos esperando em uma mesma etapa do processo. Isto é resultado de uma série de fatores, como mudanças nos pedidos, atrasos de material, quantidades programadas erradas, máquinas quebradas e outros eventos inesperados, que tornam as programações de produção obsoletas tão logo são criadas (Nicholas, 1998). Por esta razão, o MRP sofre uma série de críticas quando usado para controlar o chão-de-fábrica (Nagendra e Das, 1999).

2.2.2 Produção Puxada

O sistema de puxar elimina a necessidade de se programar todas as operações por onde passará um pedido. Decisões do que fazer e quanto fazer são tomadas pelos operadores, usando um simples sistema de sinalização que conecta as operações através do processo (Fujiwara et al., 1998).

Este é um dos benefícios da produção puxada. A transferência da responsabilidade da programação diária do chão-de-fábrica para os operadores, eliminando, assim, a necessidade de se ter um programador fazendo isto.

O sistema de puxar a produção é iniciado pela última etapa do processo antes de se ter fluxo contínuo. Este sistema exige que existam pequenos estoques de peças prontas ao final das etapas. Estes estoques criados segundo a lógica da produção puxada são conhecidos por supermercados.

Quando se controla a produção desta maneira, somente uma etapa recebe o pedido do cliente. Para realizá-lo, ela busca, no supermercado de peças da etapa anterior, as peças que ela precisa para realizar o pedido. Esta etapa, por sua vez, busca, no supermercado de sua etapa anterior, as peças necessárias para repor o seu próprio estoque, e assim sucessivamente (Takahashi e Nakamura, 1998). Na figura 2.2 representam-se os fluxos de informações e material na produção puxada.

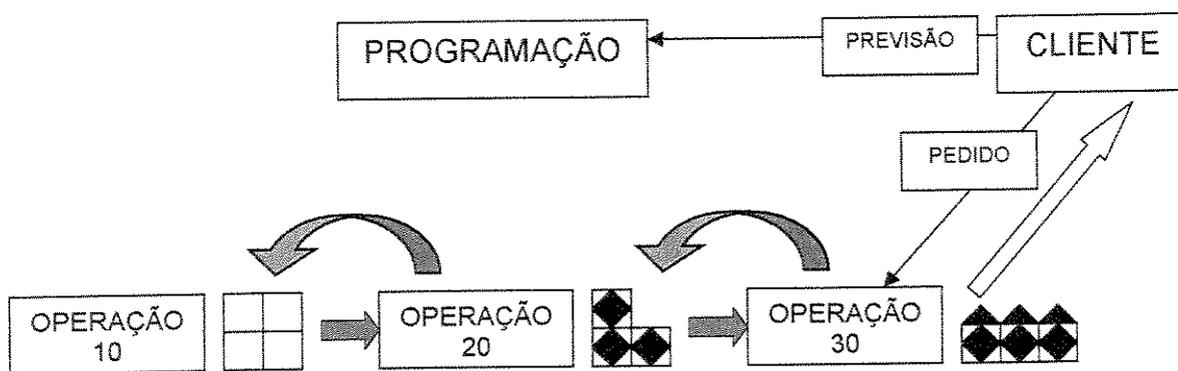


Figura 2.2: Fluxos de informação e material na Produção Puxada.

Algumas maneiras de puxar a produção:

Durante as últimas décadas, muito se pesquisou com relação ao controle de produção. Existem muitos artigos discutindo qual a melhor política de controle para o chão-de-fábrica. Para a mesma situação, diferentes autores defendem diferentes sistemas para o controle da produção. Há autores que defendem a produção empurrada contra a puxada, outros que discutem entre as melhores maneiras de se puxar a produção. Finalmente, existem aqueles que propõem combinações entre produção empurrada e puxada, ou entre maneiras de se puxar a produção.

A seguir são apresentadas, brevemente, as maneiras mais comuns de se aplicar produção puxada.

A maneira mais antiga de se puxar a produção é o Sistema Kanban. Como este tema será discutido com detalhes mais adiante, cabe aqui apenas uma breve explicação do que ele é. Resumidamente, é um sistema de informações, criado pela Toyota, que controla a produção de toda a fábrica, isto é, dá autorizações de produção, de transporte e informa a localização de

componentes através de cartões (kanban significa cartão em japonês). O princípio do kanban é limitar a quantidade de estoque em processo através de um número determinado de cartões (Gaury et al., 2000). Só se produzem ou se retiram peças de um processo, ou estoque, caso tenham-se cartões correspondentes a elas, e na quantidade fixada nos cartões.

Outra maneira de se puxar a produção é chamada de Conwip (*Constant Work in Process – Estoque em Processo Constante*). O Conwip pode ser visto como um sistema de empurrar a produção com um número limitado de peças em processo. Só entra matéria-prima no processo quando sai produto acabado (Gaury et al., 2000). Esta limitação de material pode ser feita através de um número fixo de cartões ou de embalagens. Este sistema difere do Sistema Kanban porque no Conwip, as informações da quantidade e momento de produzir não estão no mesmo cartão. Sabe-se que uma caixa foi consumida e, portanto, outra pode ser produzida, entretanto, o que será produzido é programado a partir da programação de produção.

Com o passar dos anos, surgiram algumas variações do Sistema Kanban:

FKS – Flexible Kanban System: Difere do sistema tradicional porque a quantidade de kanbans de produção pode variar. A finalidade desta variação é de compensar as perdas de produção decorrentes de interrupções quaisquer do processo (Gupta e Al-Turky, 1998).

GKS e EKCS– Generalized Kanban System e Extended Kanban Control System: Ambos são derivações do Kanban. Nestes dois sistemas, diferentemente do Kanban, em que a quantidade de peças ao final de um processo e o número de cartões são iguais, eles podem ser diferentes. Com isto, os autores que estudam estes sistemas acreditam que podem manter os níveis de estoque mais baixos do que no kanban tradicional, apesar da aplicação destes ser mais difícil. Duri et al. (2000) e Dallery e Liberopoulos (1999) explicam, respectivamente, o GKS e o EKCS.

2.2.3 Comparando a produção puxada com a empurrada

A principal diferença dos dois sistemas, puxado e empurrado, reside no fato de que a produção é empurrada quando ela está baseada na previsão de vendas, enquanto que a produção puxada é baseada no consumo real. Comparando-se alguns aspectos do sistema de puxar e empurrar, representados, respectivamente, pelo Kanban e MRP, temos o seguinte segundo Nicholas (1998):

- **Conhecendo a necessidade do cliente:** No Kanban, um item não é feito até que sua quantidade no supermercado atinja um certo nível preestabelecido. O cartão é o sinal para que a etapa anterior do processo saiba que deve produzir para a etapa seguinte. No MRP, a programação de produção é feita baseada nos tempos de processo e nas informações que a central de programação recebe de demanda.
- **Tamanho de lote:** No MRP é pré-determinado pela central de planejamento, usando a metodologia de lote econômico, juntamente com o requerimento do cliente, previsões de vendas, material existente em estoque, rota de processo e lista de materiais. No Sistema Kanban, dependendo dos tempos de preparação de equipamento e características do processo, o tamanho dos lotes pode ser definido no chão-de-fábrica, de acordo com a demanda e necessidades de reposição dos estoques intermediários. Entretanto, essa quantidade de estoque e o tamanho das embalagens, são definidas por uma central e são baseadas em previsão de vendas, rotas de abastecimento, frequência de entrega, confiabilidade no processo, área disponível, etc.
- **Prioridades:** As programações do sistema MRP podem incorporar prioridades baseadas em regras (o pedido mais rápido, o que deve ser entregue antes). Normalmente, porém, as prioridades são definidas no chão-de-fábrica pelo supervisor. No Kanban a escolha das prioridades é feita baseada num controle visual. A informação do que deve ser feito antes está explícita no quadro em que vão os cartões. Definem-se níveis de estoque para cada item e o instante em que ele deve começar a ser produzido. Estas categorias (prioridades) são decididas baseadas em tempo de processo, tempo de preparação, previsão de demanda e outras, como no MRP.

- Pedidos não esperados: Nos dois sistemas, os pedidos urgentes são honrados. Existem procedimentos nos dois sistemas para atender estas prioridades.

2.3 O Sistema Kanban

Segundo Liker (1998) o objetivo principal do Kanban, como uma técnica para se atingir a produção *Just-in-Time*, é garantir o rápido atendimento do cliente sem ter de carregar grandes quantidades de inventário. De acordo com Rother (1999), o Kanban propõe uma maneira de que os processos fabriquem somente o que seus processos clientes necessitarem, sem deixar faltar produtos e diminuindo o tempo de passagem das peças, aumentando a qualidade e diminuindo o custo. Baseado nestas definições, pode-se afirmar que o objetivo do Kanban é viabilizar a produção puxada e eliminar os desperdícios associados a se tentar adivinhar o que o cliente quer.

O Kanban é um sistema simples e de fácil compreensão. Ele utiliza princípios de visibilidade para garantir a eficiência da técnica de puxar a produção. Constitui numa ferramenta administrativa cuja finalidade é direcionar um processo de manufatura dinamizando a passagem de informações relacionadas ao que produzir, quando, em qual quantidade e como será realizado seu transporte. Dados como esses são intercambiados através de cartões preenchidos pelas próprias pessoas envolvidas no processo analisado.

Assim, informações, como a quantidade de matéria-prima necessária num determinado pedido de produção e o tempo exato de comprá-la, a fim de evitar perdas por depreciação do produto estocado, são conhecidas antecipadamente.

A seguir, o funcionamento do sistema será explicado em detalhes.

2.3.1 Regras do Kanban

Segundo Monden (1998) existem cinco regras que devem ser cumpridas para que o Sistema Kanban funcione:

Regra 1: O processo seguinte deve retirar produtos do processo anterior na quantidade necessária e no momento correto.

Para que esta regra funcione, é obrigatório que a retirada de material de um processo anterior seja feita com a apresentação de um kanban (kanban de retirada). A quantidade retirada deve ser igual àquela determinada no cartão, e por último, não podem haver peças desacompanhadas de um kanban.

Regra 2: O processo anterior deve produzir produtos para o processo seguinte nas quantidades retiradas por este.

Esta regra complementa a primeira para que não ocorra excesso de produção. O processo anterior só pode produzir itens dos quais tem cartão (kanban de produção), e só pode produzir a quantidade definida neste.

Regra 3: Produtos defeituosos nunca devem passar para os processos seguintes.

Uma vez que os estoques em processo são limitados a uma quantidade mínima, deve-se ter certeza que estas poucas peças estejam em perfeitas condições para serem utilizadas pelo processo seguinte. Caso contrário, as peças serão devolvidas ao processo fornecedor e o processo cliente terá de esperar até ter as peças em condições de produzir. Portanto, é importante que se coloque o supermercado de peças em um local onde se garanta a qualidade daquelas peças.

Regra 4: O número de kanbans deve ser minimizado.

O número de kanbans expressa o inventário máximo de cada item. Este número deve ser mantido o menor possível. Na Toyota, é responsabilidade do supervisor de cada processo trabalhar para diminuir esta quantidade. Ele deve estar sempre buscando melhorias de processo que lhe permitam diminuir o tamanho dos lotes e diminuir o tempo de processo, para poder diminuir o número de kanbans.

Regra 5: O kanban deve ser usado para suportar pequenas variações na demanda.

A mais impressionante característica deste sistema é a adaptabilidade para variações repentinas de demanda. Empresas que se utilizam deste sistema não distribuem pela fábrica programas de produção detalhados. Somente o processo puxador recebe a programação do dia. As demais áreas

só sabem o que produzirão com a chegada dos cartões. Sendo assim, mudanças no programa do dia ocorrem natural e imediatamente.

2.3.2 Tipos de kanban

Podem-se dividir os cartões em dois tipos: o kanban de retirada, mencionado na Regra 1, e o kanban de produção, mencionado na Regra 2.

Os kanbans de retirada funcionam como dinheiro. Eles são utilizados para comprar, ou melhor, retirar peças do almoxarifado ou de processos anteriores. O número destes cartões é calculado com base no consumo de cada item pela linha e pelos seus intervalos entre abastecimentos. Assim, impede-se que um processo compre uma quantidade maior do que precisa, resultando em excesso de material na área.

Os kanbans de produção também existem numa quantidade fixa, calculada com base na demanda do cliente (interno ou externo), e mais uma série de fatores que serão detalhados mais para frente. A intenção é impedir o excesso de produção, afinal, como está claro na Regra 2 do item anterior, quando todos os cartões estiverem com produtos, não há como produzi-lo (Monden, 1998).

Existe uma variação do kanban de produção para o caso de um processo que produza em lotes. Ao invés de se ter um cartão para cada embalagem que o compõe, pode-se usar um só cartão para pedir todo o lote. Neste caso, escreve-se nele a quantidade que o processo anterior deve produzir. Também se escreve o instante em que o processo cliente deve entregar o cartão para o processo anterior, conhecido como ponto de disparo. Esta variação do kanban de produção é chamada de Kanban de sinal ou Triângulo Kanban.

2.3.3 A Dinâmica do Sistema

Uma fábrica que opera com kanban tem basicamente dois tipos de procedimento, com um ou com dois cartões:

Sistema Kanban de um cartão:

Este sistema se caracteriza por possuir apenas um local de estoque, isto é, supermercado, entre um processo fornecedor e seu cliente (pode ser um processo produtivo ou não). O único cartão existente neste caso é o kanban de produção.

O supermercado de produtos do processo fornecedor fica concentrado junto ao cliente (SM1). Como pode-se observar abaixo, são 2 modelos diferentes. As embalagens de produto têm, junto delas, um cartão, de formato quadrado, na cor correspondente àquele modelo (Figura 2.3).

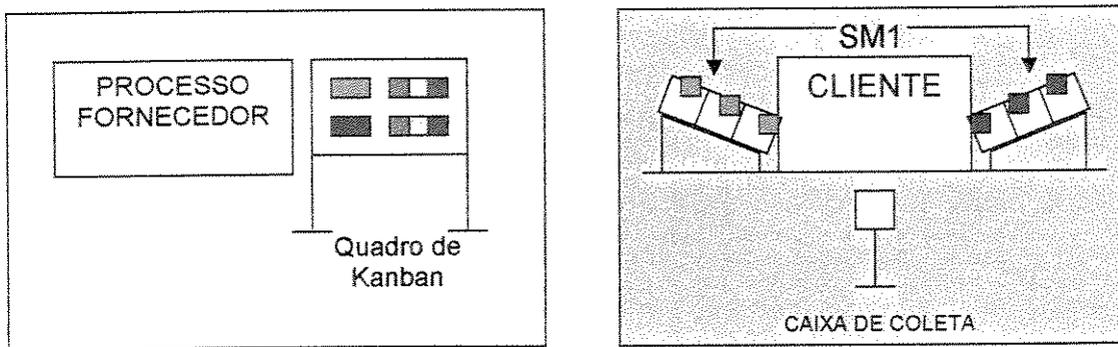


Figura 2.3: Estoque junto ao cliente.

À medida que o cliente consome estas peças, os cartões que estavam juntos às embalagens são colocados em uma caixa de coleta, próxima dele (Figura 2.4).

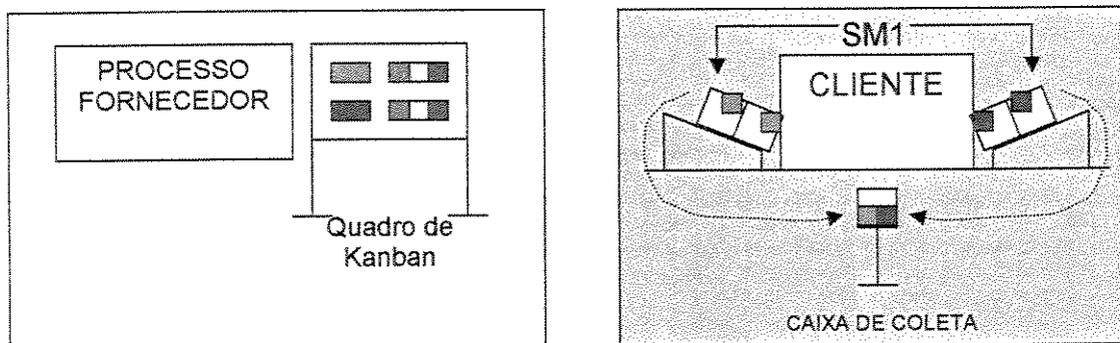


Figura 2.4: Colocação dos cartões na caixa de coleta.

A cada período definido de tempo, ou quando a quantidade de peças atingir um certo nível, os cartões são retirados da caixa de coleta e levados para um quadro, junto ao processo fornecedor (Figura 2.5).

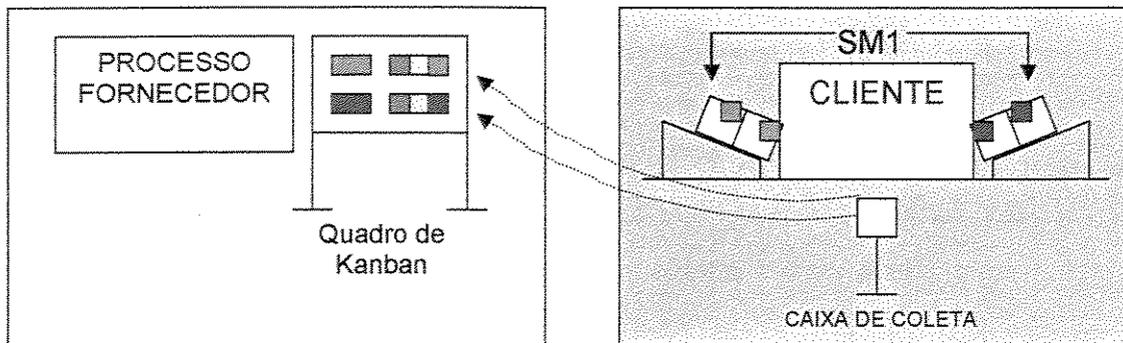


Figura 2.5: Os cartões levados para o quadro de kanbans no processo fornecedor.

A existência de cartões no quadro dá permissão para a linha produzir aqueles itens, na quantidade definida no cartão. Quando o processo fornecedor termina de produzir uma embalagem, o cartão é retirado do quadro e colocado junto a ela. Quando for hora, estas embalagens serão levadas de volta para o supermercado, junto ao cliente, e os cartões que estiverem na caixa de coleta serão levados de volta para o quadro (Figura 2.6).

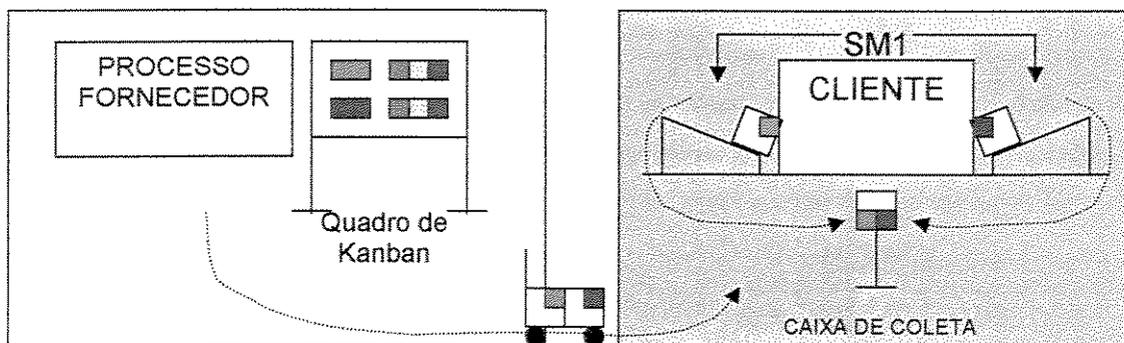


Figura 2.6: Material levado para o processo cliente.

Sistema Kanban de dois cartões:

Este sistema se caracteriza pela existência de dois supermercados, SM1 e SM2 (Figura 2.7). Um fica no fornecedor e outro fica no cliente. Neste caso, os dois tipos de kanban que descrevemos anteriormente estão presentes. As embalagens que ficam no supermercado do fornecedor têm, fixadas nelas, os kanbans de produção; as que ficam junto ao cliente têm os de retirada. Os kanbans de produção estão representados nas figuras seguintes como quadrados, enquanto que os de retirada estão representados por losangos.

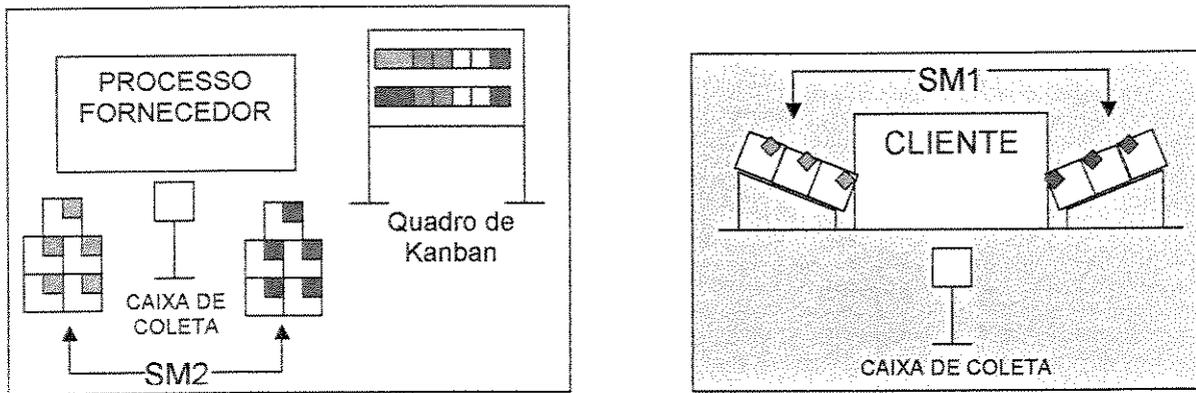


Figura 2.7: Supermercados junto aos dois processos.

À medida que o cliente consome a matéria-prima do supermercado próximo, os cartões que estavam juntos às embalagens são colocados em uma caixa de coleta. A cada período de tempo definido, estes kanbans de retirada são coletados e levados até o supermercado do processo fornecedor (Figura 2.8).

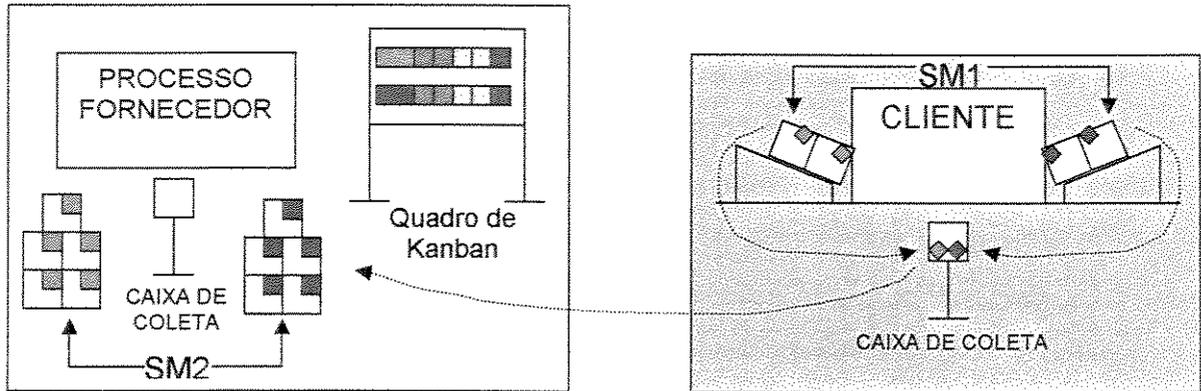


Figura 2.8: Cartões sendo colocados na caixa de coleta.

Chegando lá, os kanbans de retirada funcionarão como uma lista de compras. Para cada kanban de retirada será comprada uma embalagem daquele item. As embalagens compradas receberão os kanbans de retirada e serão levadas para o estoque junto ao cliente. Os kanbans de produção que acompanhavam as embalagens no estoque fornecedor serão colocados na caixa de coleta próxima à linha e em seguida no quadro (Figura 2.9).

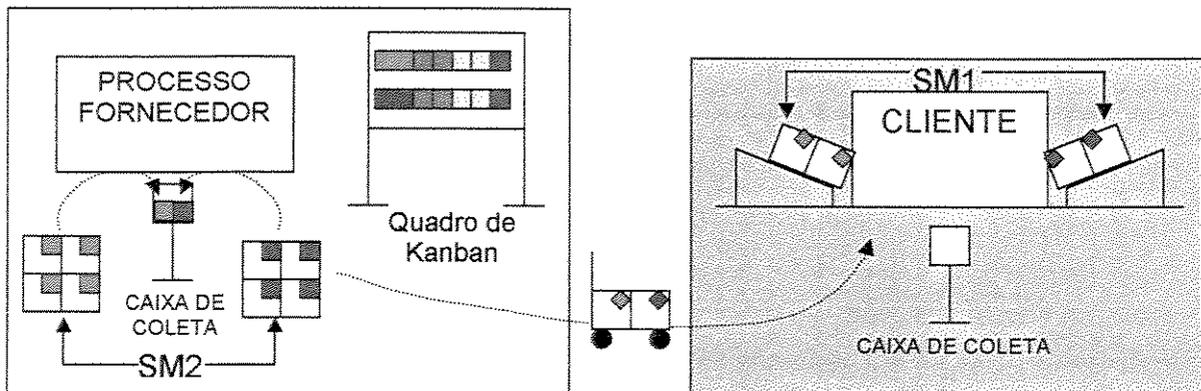


Figura 2.9: A compra é feita com os cartões de retirada.

Da mesma forma que no sistema de um cartão, a existência de kanbans de produção no quadro dá ao processo fornecedor permissão de produzir aqueles itens, nas quantidades determinadas nos cartões. Depois de produzidas, as embalagens recebem os kanbans de produção e são colocados novamente no supermercado do fornecedor (Figura 2.10).

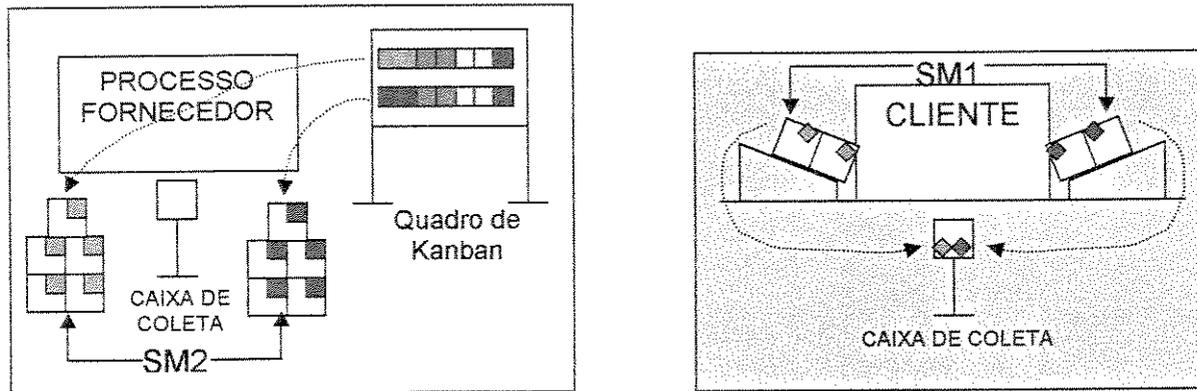


Figura 2.10: O processo fornecedor tem permissão para produzir, e o cliente continua a consumir.

O supermercado pertence ao processo fornecedor. Ele é responsável por manter as quantidades de peças para que o cliente sempre seja atendido. Por isto, o sistema de dois cartões é considerado melhor do que o de um cartão. Neste sistema, o processo fornecedor é claramente o “dono” do supermercado. O processo cliente vem comprar aquilo de que precisa.

Entretanto, o sistema de um cartão é mais simples de ser implementado. É comum implementar-se o sistema com um cartão e depois evoluir para o de dois cartões. Entretanto, quando as distâncias entre os processos são bastante pequenas e o supermercado pode ficar próximo do cliente, não há a necessidade de se introduzir o cartão de retirada.

2.3.4 Sequência de produção

Os kanbans de produção, que entram nos quadros de kanban junto às linhas de produção, podem ser produzidos em diferentes ordens (Akturk e Erhun, 1999). Quando um processo fornecedor tem vários clientes consumindo diferentes, ou os mesmos produtos, a sequência de produção se torna um problema complexo. Pode-se optar por produzir os itens na ordem de chegada ao quadro. Outras opções são atender o menor ou o maior pedido primeiro. Existem,

também, as opções de se fazer o mais rápido ou o mais demorado primeiro. A melhor política de produção depende de cada caso, porém, cabe às empresas definirem-na.

Os quadros de kanban, a que nos referimos, são ferramentas complementares do Sistema Kanban. Os kanbans de produção, depois de destacados de alguma embalagem consumida pelo cliente, são fixados em quadros junto ao processo fornecedor. Estes quadros são organizados de tal forma, que os operadores saibam a quantidade de peças de cada item no estoque intermediário, e o que deve ser produzido primeiramente.

Para auxiliar os operadores a montarem a sequência de produção, os quadros de kanban são organizados em faixas coloridas, que indicam a situação de cada item em estoque, e o momento em que deve ser iniciada a produção de cada um. Os quadros também devem indicar até quando os itens devem ser produzidos.

Porém, não se encontra na literatura pesquisada, de maneira clara, como deve ser montado o quadro, ou como dimensionar estas faixas. Assim, os operadores não têm como tomar para si a responsabilidade da programação da produção, que é um dos benefícios e pré-requisitos do Sistema Kanban. Neste caso, sempre existe a necessidade de consultar alguém que vai dizer o que fazer e até quando.

2.3.5 Escolhendo o ponto de puxar

Outro ponto importante na implantação do Sistema Kanban é a escolha dos pontos onde ficarão os supermercados.

Em uma cadeia produtiva de muitos estágios, existem pontos onde não é possível manter o fluxo contínuo de material, ou onde forçar este fluxo pode ser prejudicial. De acordo com Rother e Shook (1999), fluxo contínuo significa produzir uma peça de cada vez, com cada item sendo passado imediatamente de um estágio do processo para o seguinte, sem nenhuma parada entre eles. Estes autores citam algumas razões para que não seja utilizado o fluxo contínuo, mas sim a produção por lotes:

- Processos com tempo de ciclo muito lento ou muito rápido, e que são compartilhados por outras linhas (estamparia e injeção);
- Processos localizados em fornecedores, ou distantes por razões diversas (segurança, por exemplo);
- Processos pouco confiáveis para serem ligados diretamente a outros processos em fluxo contínuo;

Os autores citam outras razões além destas:

- Processos com tempo de preparação muito altos prejudicam a flexibilidade de resposta da linha;
- Processos muito longos, que tornam o tempo de resposta para o cliente muito demorado;

Uma vez definidos os processos que não estarão em fluxo, ou seja, que produzirão para um estoque intermediário, é hora de escolher onde entrará a programação de produção, ou seja, o pedido dos clientes. Normalmente, ela só precisará ser feita em um ponto do processo, porque os demais serão programados via kanban. Isto significa que conforme o processo programado consuma os itens destes inventários intermediários, os respectivos processos anteriores produzirão para supri-los, sem a necessidade de saber qual o pedido do cliente, ou se este está sendo alterado.

O processo onde entra a programação é chamado de processo puxador. Este ponto da cadeia deve ser bem escolhido porque esta escolha define o tempo de resposta da empresa, da colocação de um pedido, até a entrega para os clientes. O ponto de entrada deve ser escolhido de tal forma que não exista necessidade de programar nenhum estágio subsequente do processo. O que este processo produzir chegará às mãos do cliente. Em outras palavras, a partir do processo escolhido tem-se fluxo contínuo.

2.3.6 Como calcular o número de kanbans

Uma vez que sabemos onde colocar os supermercados, é hora de dimensioná-los. Yasuhiro Monden apresenta, no seu livro *Sistema Toyota de Produção* (1998), uma série de

equações para o cálculo da quantidade de cartões. Estas fórmulas são colocadas, por ele, como aquelas usadas pela Toyota para dimensionar seus supermercados. Inúmeros artigos e livros apresentam estas mesmas equações, e as referenciam como as fórmulas da Toyota.

Monden (1998), atribui à Toyota dois tipos de controle de inventário: quantidades constantes pedidas e horários constantes de pedido. De acordo com o primeiro, uma quantidade fixa será pedida para o processo anterior toda vez que o estoque deste item atingir um determinado nível. Neste caso, a quantidade pedida é fixa, mas a data do pedido é variável. De acordo com o segundo, acontece o contrário. Os pedidos acontecem em horários fixos, mas a quantidade pedida varia.

Quantidades Constantes Pedidas:

É o método utilizado pelas empresas, normalmente dentro das fábricas, em razão da pequena distância entre processos, tempos de preparação relativamente baixos, lotes pequenos e baixo tempo de passagem de peças. É importante deixar claro que este método necessita de pessoas que possam, a qualquer momento, fazer o transporte de cartões para o fornecedor e peças para o cliente. Nestes casos, normalmente, só se tem um ponto de supermercado, e, portanto, somente kanbans de produção.

O cálculo é feito da seguinte maneira:

$$\text{NúmeroKanbans} = \frac{\left(\frac{DM}{QT}\right) + (DD \times S(\%))}{C(\text{peças})} \quad (2.1)$$

ou

$$\text{NúmeroKanbans} = \frac{(DD \times LT(h)) \times (1 + S(\%))}{C(\text{peças})} \quad (2.2)$$

Onde:

DM: Demanda média mensal em peças.

QT: Número de trocas de ferramentas planejadas no mês.

DD: Demanda média diária em peças.

S: Coeficiente de segurança em porcentagem.

C: Quantidade de peças por embalagem.

LT: Somatória dos tempos de processo, transporte, eventual espera, e o tempo de coletar os cartões, dado em horas.

Quando os tempos de preparação são longos, o que aumenta o tamanho dos lotes, recomenda-se o uso da equação 2.1 para se calcular a quantidade de kanbans de produção. Neste caso, é necessário, também, se definir o momento em que o processo anterior começa a produzir, de maneira que o processo cliente não fique sem peças de nenhum modelo. Como mencionamos anteriormente, este instante é chamado ponto de disparo, e é calculado através da fórmula 2.2.

Em um processo que não tem tempos de preparação longos, e que está fisicamente próximo dos seus clientes, pode-se calcular o número total de kanbans através da fórmula 2.2 simplesmente.

O coeficiente de segurança, nas fórmulas acima, corresponde a variações na demanda de até 10%. Quanto maior este fator, maiores as chances de se atender a demanda, e maiores são os custos para a empresa. Co e Sharafali (1997) apresentam um algoritmo para otimizar este fator.

Horários Constantes de Pedido:

É o método utilizado, normalmente, entre as empresas e seus fornecedores externos. Isto se justifica pela distância entre estes, que deixaria inviável as entregas a qualquer momento do dia, exigidas pelo método anterior. Quando se usa o compartilhamento de cargas entre os diversos fornecedores, conhecido por *Milk Run*, cria-se a situação ideal para esta estratégia.

Dentro das fábricas, este método é usado em situações onde a distância entre os processos é relativamente longa, e não se pode disponibilizar pessoas para fazerem este transporte de peças e cartões.

Neste caso, são fornecidas as seguintes fórmulas para calcular a quantidade de kanbans de produção:

$$\text{NúmeroKanbans} = \frac{DD \times (IE(h) + LT(h) + S(h))}{C(\text{peças})} \quad (2.3)$$

Para calcular o IE (*Intervalo entre entregas*) é sugerida a seguinte fórmula:

$$\text{IntervaloEntregas} = \frac{\left(\frac{DM}{QT} \right)}{DD} \quad (2.4)$$

Onde:

IE: Intervalo entre entregas medido em horas.

S: Segurança medida em horas.

O período entre entregas, frequentemente, é calculado com base em muitos fatores. Quando se trata de processos internos, considera-se: o tamanho das caixas, a distância entre os processos, o equipamento de transporte, a disponibilidade do abastecedor e o espaço no estoque na linha cliente. Se estivermos falando de clientes externos, considera-se, principalmente, o custo de transporte.

Monden (1998) não apresenta, na situação de horários constantes de pedido, o momento em que o fornecedor deve iniciar sua produção.

Para calcular os kanbans de retirada temos a seguinte equação:

$$\text{NúmeroKanbans} = \frac{DD \times (IE(h) + SE(h))}{C(\text{peças})} \quad (2.5)$$

Onde:

SE: Segurança exclusivamente relativa a problemas de transporte, tais como atrasos, pneus furados e outros.

É importante notar que as fórmulas apresentadas não consideram variações na demanda. A quantidade de kanbans é calculada baseada na demanda média diária. Outro ponto que deve ser observado é que a Toyota é conhecida por conseguir fazer suas trocas de ferramentas em poucos minutos. Talvez por esta razão os tempos de troca de ferramenta ou de preparação não estão considerados dentro do *Lead Time*, bem como o tamanho dos lotes que o fornecedor pode produzir.

Simulações:

Existem inúmeros trabalhos utilizando simulação com a finalidade de determinar a quantidade de kanbans. Estes trabalhos criam modelos de processos de vários estágios, alguns com diversos modelos de produto, outros com somente um. O objetivo de todos é calcular o mínimo número de kanbans para que alguns parâmetros sejam minimizados, como o tamanho dos supermercados, tempo de passagem, e faltas de peças, enquanto outros sejam maximizados, como o grau de atendimento do cliente e lucratividade.

Os trabalhos diferem uns dos outros na escolha dos modelos e no seu grau de complexidade. Alguns autores usam programação linear, outros, programação evolucionária (EP), como Bowden et al. (1996), alguns criaram modelos estocásticos, como Guimarães (1997). Regras de indução e árvores de decisão foram usadas por Markham et al. (1998). As soluções encontradas podem ser exatas ou heurísticas.

Um algoritmo para automaticamente ajustar a quantidade de kanbans para demanda e tempos de processo variáveis, foi proposto por Gupta e Al-Turki (1997) para minimizar as faltas de material. Eles chamaram este algoritmo de *Flexible Kanban System*.

Sengupta et al. (1999) apresentam uma simulação para determinar o número de kanbans em um ambiente de manufatura flexível. Eles apresentam um modelo em que a falta de material e a reprogramação de itens é penalizada. Também introduzem uma visão de custos neste modelo.

Um novo método matemático para o dimensionamento de níveis máximos e mínimos de estoque, e estoques de segurança é apresentado por Mertins e Lewandrowski (1999).

Hemamalini e Rajendran (2000) descrevem um algoritmo para calcular a quantidade ótima de peças por embalagem para minimizar o número de kanbans.

Outras simulações são utilizadas para avaliar a performance do sistema quando se variam os fatores que influenciam o tamanho dos estoques. Os impactos de se ter flexibilidade de rotas através de máquinas similares é estudado por Yu e Greene (2000) na performance do Kanban em um processo de vários estágios.

Fujiwara et al. (1998) avaliam uma série de parâmetros (tamanho dos estoques, tempo médio de espera, nível de atendimento da demanda, etc.) para uma série de entradas (número de kanbans, ponto de disparo da produção, tamanho dos lotes, etc).

A aplicação prática destas simulações em empresas, com a finalidade de colocar o Sistema Kanban para funcionar, é escassa. A necessidade de criar modelos para a demanda, pessoas altamente experientes em simulações, e tempo, dificultam o uso destes resultados na indústria.

2.3 Nivelamento da Produção

Fazendo uma adaptação ao exemplo de Park (1993): suponha que, em um mês, uma fábrica tenha de produzir 10000 unidades de quatro modelos diferentes A, B, C e D na mesma linha de montagem. Existem inúmeras maneiras de satisfazer tal ordem. Da maneira tradicional, com produção em grandes lotes, produzir-se-ia 10000 unidades de A na primeira semana, depois 10000 de B na segunda, de C na terceira e finalmente 10000 de D na última. Produzindo-se dessa forma, ao final do mês a empresa teria minimizado o custo com trocas de ferramentas, maximizado o tempo que as máquinas ficaram operando e ficaria bem contente.

Entretanto, uma empresa que produz de tal maneira deve manter sempre estoque de produtos para suportar o período em que estes não estão sendo produzidos. O gráfico 2.1 mostra os níveis de estoque de cada item ao longo do mês. Ela também compra matéria-prima em grandes lotes e deve ter espaço para armazená-la. Caso o cliente mude o seu pedido, existe o risco de se ficar com o estoque cheio de peças de produto acabado ou de matéria-prima. Se este grande

lote foi produzido com algum problema de qualidade, uma semana inteira de trabalho pode ter sido desperdiçada.

Uma maneira alternativa de fazer este pedido, uma vez que o cliente necessita dos quatro modelos diariamente, seria dividir as 10000 unidades de cada modelo pelo número de dias úteis no mês (20, por exemplo). Desse modo, a empresa produziria 500 unidades de cada modelo diariamente. De maneira análoga, essa quantidade de cada modelo não precisa ser produzida de uma vez ao longo do dia, ela pode ser intercalada, isto é, podem-se produzir duas horas da peça de A, depois duas da peça de B, e assim sucessivamente. O gráfico 2.2 mostra os níveis de estoque caso seja possível produzir todos os modelos dentro de um intervalo de duas horas.

Fazendo isso, a empresa aumentaria o número de trocas de ferramentas, porém diminuiria drasticamente o material em processo, produtos em estoque, e diminuiria as incertezas de previsões longas de produção, que são uma grande fonte de desperdícios e problemas para o Controle de Produção. (Park, 1993). Podemos observar o impacto dos níveis de estoque no gráfico 2.2.

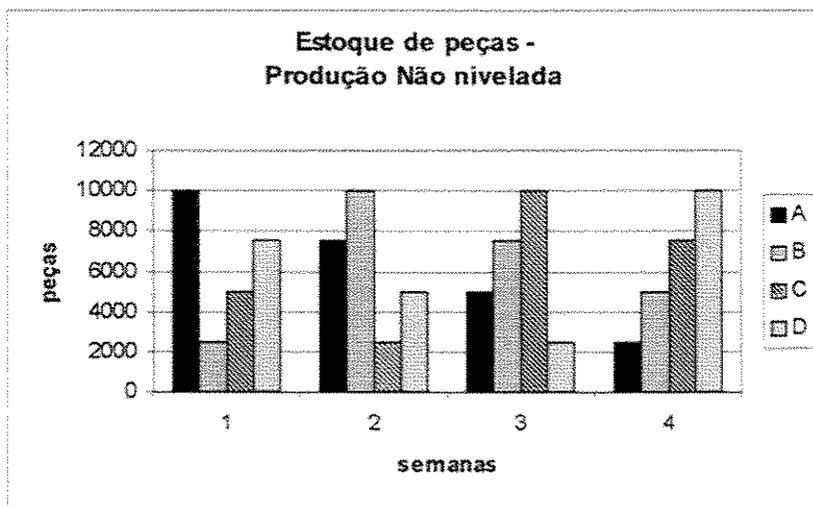


Gráfico 2.1: Nível de estoque não nivelado com uma troca de ferramenta por produto por mês.

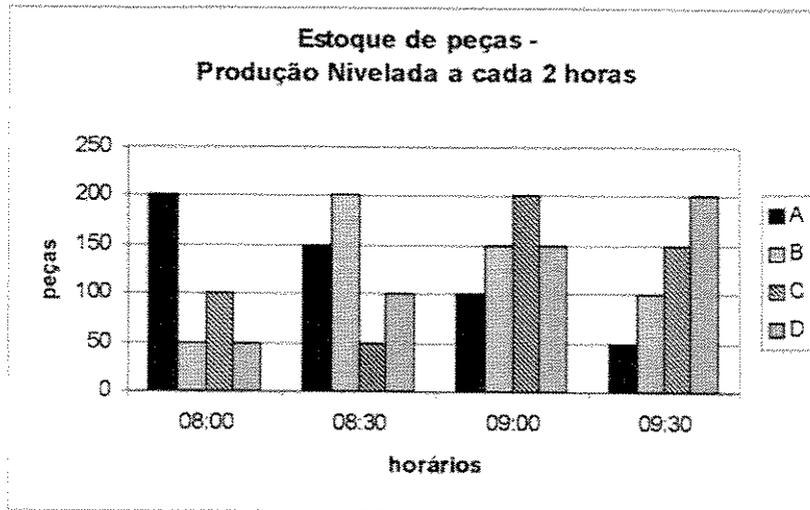


Gráfico 2.2: Nível de estoque nivelado com uma troca de ferramenta por produto a cada 2 horas.

De maneira simplificada, a definição de produção nivelada seria produzir todos os itens dentro de um mesmo intervalo de tempo. Quanto menor este intervalo, que pode ser de um mês, uma semana, um dia ou uma hora, mais nivelada é a produção. Nivelando a produção da etapa final do processo, o uso de matéria-prima também é nivelado. Conseqüentemente, a carga de todo o sistema de produção daquele produto se torna uniforme.

A palavra japonesa *heijunka* é definida pela Toyota como “a distribuição da produção de diferentes itens de maneira homogênea durante o dia, a semana e o mês”. Quando isto é factível, podemos tornar a produção a mais próxima possível da demanda dos clientes. Para Coleman (1994), esta é a definição de nivelamento da produção. Para fazer a produção puxada acontecer, esta empresa utiliza quadros de nivelamento, conhecidos por *Heijunka Box*. Estes quadros controlam o *mix* e o ritmo de produção (Cochran e Lima, 1999).

O nivelamento é uma estratégia para se atingir a produção *Just-in-Time*. Ele é visto como um pré-requisito para se aplicar o Sistema Kanban. Aplicar o Kanban sem antes conseguir aplicar o nivelamento significa ter supermercados grandes demais, não trazendo bons resultados.

Muitas empresas, que têm capacidade de nivelar sua produção, não o fazem. Muitas vezes, estas empresas fazem uma entrega por dia ou por semana, e assim não vêem a necessidade de se produzir todos os produtos dentro de intervalos menores. Elas se esquecem de que seus

clientes mudam seus pedidos durante estes períodos. Elas também não percebem que fazendo lotes menores, também podem comprar lotes menores de componentes. Como benefícios teriam uma detecção mais rápida de defeitos em componentes e também poderiam mudar seus pedidos.

Há que se deixar claro, porém, que as vantagens de se nivelar a produção valem tanto para a produção puxada, quanto para a empurrada, e por isso o nivelamento deve ser buscado sempre.

2.3.1 Tempo *Takt*

A Toyota criou um conceito que é fundamental para o nivelamento da produção. Trata-se do ritmo em que a linha deve produzir. Este varia conforme a demanda do cliente. Ele é calculado dividindo-se o tempo disponível de trabalho em um determinado período de tempo que pode ser um turno, um dia, uma semana, pela demanda média no período. Este tempo é conhecido por tempo *takt* (Smith, 1998).

$$\text{TempoTakt} = \frac{TDP(s)}{DMP(\text{peças})} \quad (2.6)$$

e

$$TDP = TTP(\text{min}) - \sum \text{TempoParado} \quad (2.7)$$

Onde:

TDP = Tempo disponível no período.

DMP = Demanda média no período.

TTP = Tempo total no período, é a diferença entre o horário final do período e o seu início.

$\sum \text{TempoParado}$ = Tempo de paradas programadas, como almoço, café e reuniões.

Calcular o tempo *takt* é necessário para organizar arranjos físicos em formato celular, especificar processos de fabricação, definir as rotas e horários de abastecimento de material e, finalmente, os níveis de estoque (Cochran e Linck, 1999).

Quando se produz no ritmo da demanda do cliente evita-se o excesso de produção (que ocorre quando se produz mais rápido do que o tempo *takt*) ou a falta de produtos (quando se trabalha mais devagar do que o tempo *takt*).

Do tempo *takt* podemos extrair o valor do *pitch*. Este é o ritmo da produção em termos de embalagem. Ele informa de quanto em quanto tempo a linha deve produzir um lote, ou uma embalagem, para atender ao volume pedido naquele período.

$$Pitch = TT \left(\frac{s}{peças} \right) \times C(peças) \quad (2.8)$$

Onde:

TT = Tempo *takt*.

C = Capacidade de peças por embalagem.

2.3.2 Pré-requisitos para nivelar a produção

Para se nivelar a produção, na prática, Bicheno (2000) lista alguns pré-requisitos:

Primeiramente, os tempos de preparação de equipamentos devem ser baixos para se diminuir o tempo de resposta para o cliente. A combinação disto com a produção puxada, e uma pequena distância entre o cliente e fornecedor, é possível atender aos pedidos do cliente com o mínimo de estoque possível.

Os projetos de produto e os seus roteiros de fabricação têm um papel importante para se atingir o nivelamento. Quanto ao processo, as diferenciações entre os produtos deveriam ser empurradas para as etapas finais do processo. Ao fazer isto, diminuem-se os estoques de peças e componentes, bem como o tempo de resposta para o cliente. Quanto aos produtos, a simplificação deve ser buscada sempre, de modo a reduzir os tempos e as variações no processo. As variações criam a necessidade de se balancear as linhas a todo instante e criam instabilidade.

Os departamentos de vendas e marketing devem estar cientes da importância do nivelamento da produção para a empresa. Eles devem abandonar estratégias de beneficiar os

clientes que pedem grandes volumes de uma vez, ao invés daqueles que pedem com maior frequência.

É necessário fazer uma análise profunda da demanda. Entender as razões dos picos e vales de demanda junto com vendas e marketing. Tentar descobrir estabilidade dentro de uma demanda que parece irregular. Finalmente, criar um esquema para atender aos pedidos excepcionais.

2.3.3 Quadros de Nivelamento

Os quadros de nivelamento da produção são complementares ao Sistema Kanban. Eles são uma evolução dos quadros de kanban. Eles são mais completos, pois, além de mostrarem a situação dos estoques e o que deve ser produzido, como os quadros de kanban, ainda dão o ritmo em que a linha deve produzir para atender a demanda.

Na figura 2.11 apresenta-se um modelo de quadro de nivelamento. Ele é dividido em duas partes, a parte inferior chamada de Situação de Estoque e a parte superior de Ordem de Produção (Lima e Tardin, 2000).

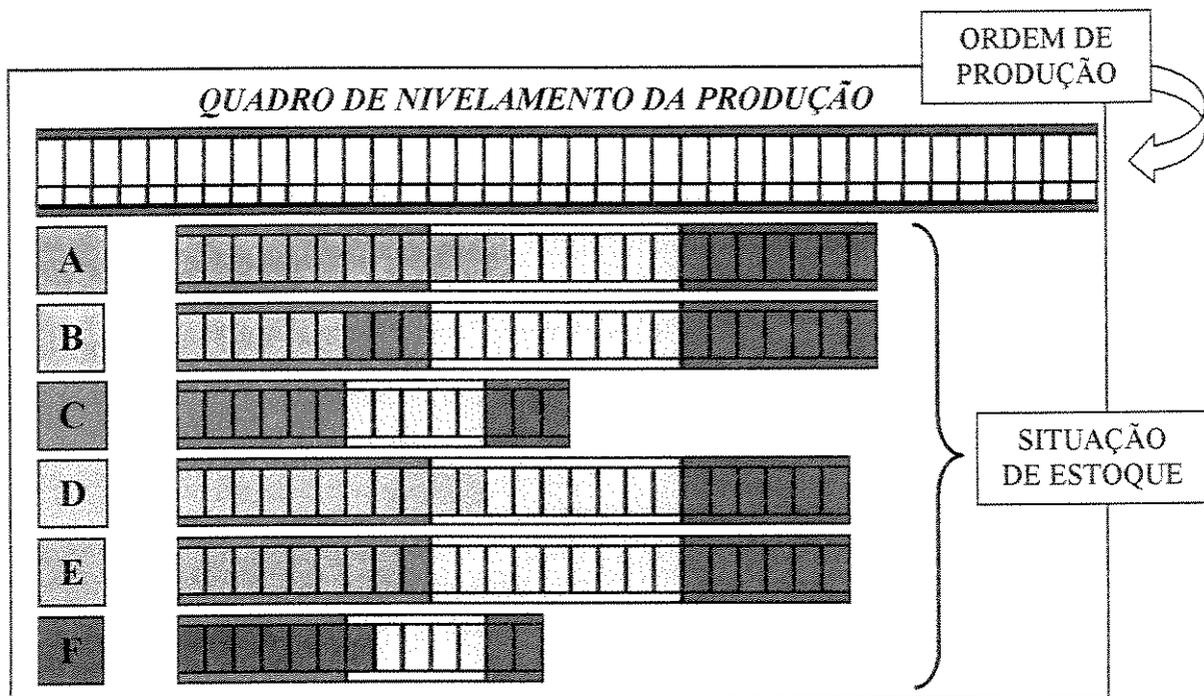


Figura 2.11: Modelo de um quadro de nivelamento da produção.

- Situação de Estoque: é igual a um quadro de kanbans tradicional. Ela é dividida por produtos e deve ter espaço para se colocar a quantidade total de kanbans de produção de cada um deles. Cada área de produto no quadro é dividida em 3 faixas das cores verde, amarela e vermelha. Estas mostram a situação dos produtos no supermercado, e o instante em que eles devem ser produzidos.
- Ordem de Produção: também é conhecida por régua de produção. É a área em que é feita a sequência de produção. Abaixo dela são marcados os horários em que os cartões devem ser produzidos. Esta parte é conhecida por Régua de Tempo. O tempo de produção de cada cartão depende do *pitch*, isto é, do tempo *takt* e da capacidade da embalagem. Assim, caso a demanda aumente, os produtos devem ser feitos mais rapidamente e vice-versa. Estes horários devem ser atualizados a cada mudança de volume ou *mix* de produção.

Esta área deve ser grande o suficiente para abrigar os cartões que a linha deve produzir durante um certo período de tempo. Se a demanda aumenta, isto é, se aumenta a necessidade de se produzir kanbans, deve haver espaço para colocar estes cartões a mais.

Funcionamento:

Explicar o funcionamento do quadro complementa a explicação da dinâmica da programação de produção no Sistema Kanban (Seção 2.3.3). Lima e Tardin (2000) explicam o funcionamento do quadro. Toda vez que um produto for consumido, o kanban de produção que o acompanhava é fixado no quadro, na área do respectivo produto, da direita para a esquerda, dentro da Situação de Estoque.



Figura 2.12: Dinâmica de funcionamento do quadro de nivelamento.

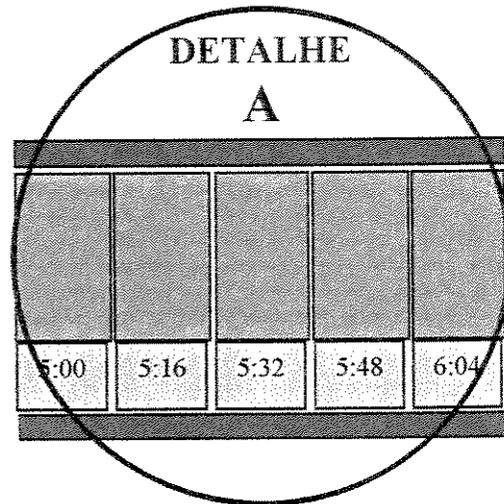


Figura 2.13: Detalhe A da Ordem de produção com os horários.

Quando um dos itens atinge o ponto de começar a produção, retira-se do quadro uma quantidade de kanbans daquele modelo da parte inferior do quadro. A retirada dos cartões é feita da direita para a esquerda. Em seguida eles são colocados sobre a Ordem de Produção no sentido contrário. A figura 2.12 mostra esta dinâmica.

Quando o relógio marcar o horário escrito sob a régua de tempo, o cartão colocado sobre este horário é retirado da Ordem de Produção, colocado na embalagem, e sua produção é iniciada. A figura 2.13 mostra como é a Ordem de Produção e a régua de tempo. Ao completar a embalagem, esta e o cartão são movidos para o supermercado. Os cartões voltam para o quadro quando a caixa é requisitada pelo cliente, o que recomeça o ciclo.

Na prática existem duas dificuldades para determinar o ritmo da linha. A primeira delas ocorre quando os tempos de processo são diferentes. A segunda quando as embalagens têm capacidades diferentes. Estes dois fatores implicam em diferentes valores para o *pitch*.

Quando os tempos de processo são diferentes, alguns ficam acima do tempo *takt*, enquanto outros ficam abaixo. O gráfico 2.3 representa isto. O tempo *takt* é uma média somente.

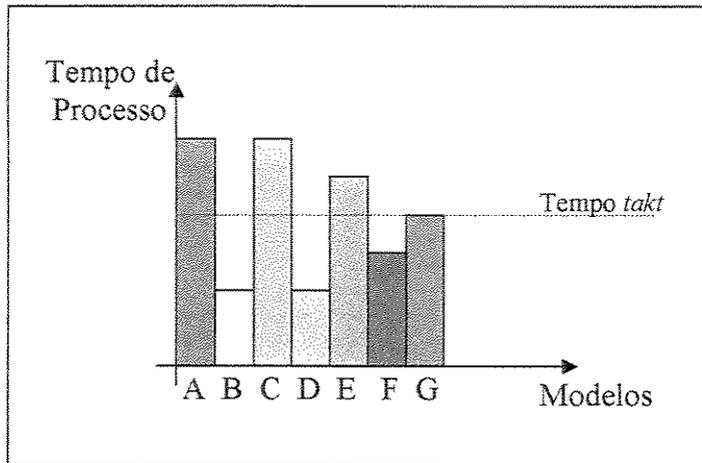


Gráfico 2.3: Tempos de processos variam de modelo para modelo.

Exemplificando o problema, imagine que o tempo *takt* no gráfico 2.3 tenha sido calculado e é igual a um minuto por peça. Se todas as embalagens acomodassem 30 peças, o *pitch* da linha seria de 30 minutos (usando a equação 2.8). A Ordem de Produção ficaria da seguinte maneira:

08:00	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00

Figura 2.14: Ordem de produção tradicional.

Sabe-se, porém, que aquelas peças que têm seu tempo de ciclo acima do tempo *takt* não conseguirão ser produzidas em 30 minutos. Se as peças com tempo de processo menor ao tempo *takt* forem produzidas no ritmo ditado pela régua de tempo, a produção do dia não será atendida.

O segundo problema é similar. Quando as peças ou embalagens têm tamanhos diferentes, o *pitch* varia de modelo para modelo. Uma vez que não se sabe o que o cliente consumirá no próximo intervalo de tempo, torna-se impossível definir a sequência ou os horários de produção na régua de tempo.

Gerenciamento Visual:

O Quadro de Nivelamento é um sistema visual de gerenciamento da produção. Ele elimina a necessidade de se ter programadores fazendo a programação diária da produção. A responsabilidade das decisões do que se produzir são tomadas pelos próprios operadores com o auxílio desta ferramenta. Além disso, deles podemos tirar, imediatamente, uma série de informações que economizam tempo:

a) O estoque de cada produto em qualquer instante: para isto, basta saber o número de cartões que há de cada produto, a quantidade que cada cartão representa dele e contar quantos cartões do produto estão no quadro. Com estas informações, basta subtrair o número de cartões do produto que está no quadro do número total de cartões que há dele, e multiplicar este resultado pela quantidade de produtos por cartão.

$$\text{Peças Prontas} = (K - KQ) \times C \quad (2.9)$$

Onde:

K = Número total de kanbans.

KQ = Número de kanbans no quadro

b) Sabe-se se a produção está atrasada ou adiantada: os operadores devem respeitar os horários da Ordem de Produção. Desse modo, evita-se o excesso de produção, no caso dos operários se adiantarem; e caso a linha se atrase, todos os que passarem pelo quadro notarão e questionarão os motivos do atraso, se é resultado de uma quebra, falta de material, ou outro motivo.

c) Sabe-se quando fazer um novo pedido de material: pode-se determinar no quadro quando fazer o pedido de material junto ao fornecedor. Por exemplo, no instante em que a faixa verde estiver repleta de cartões, é feito o pedido.

d) Sabe-se se estamos trabalhando com estoque demais ou de menos: se os cartões dificilmente atingem a faixa amarela, pode-se estar trabalhando com um supermercado grande demais. Se a

faixa vermelha é usada constantemente, deve-se investigar as causas. Pode-se estar com kanbans insuficientes, ou podem estar ocorrendo muitos problemas.

e) Antecipam-se situações de falta de componentes: a programação fica visível a todos da linha, que sabem o que produzirão com uma boa antecedência, bem como os fornecedores internos da linha, que sabem o que e quando entregar a ela, podendo se programar melhor em situações especiais.

Estas situações especiais a que nos referimos neste último item podem ser as mais diversas. Pode-se citar uma situação experimentada algumas vezes no decorrer deste trabalho: a falta de um componente comum a dois produtos. Depois de um período sem montar alguns produtos pela falta deste componente, os supermercados de vários itens se encontram em situações críticas. O fornecedor, neste caso, pode decidir o que produzir observando o supermercado de produtos de seu cliente. Aquele item mais crítico no supermercado do meu cliente é o que ele deve produzir primeiramente.

2.4 Considerações Finais

Neste capítulo foi mostrado que existem algumas dificuldades na aplicação de duas importantes estratégias para se atingir a produção *Just-in-Time*, a produção puxada e o nivelamento da produção.

As fórmulas que Monden (1998) atribui à Toyota para dimensionar o Sistema Kanban, bem como as simulações citadas, são de difícil aplicabilidade na prática por razões distintas. A primeira por ser muito simples e não considerar elementos importantes da produção. A segunda por ser muito complexa, requerendo pessoal altamente treinado em simulações e tempo.

As fórmulas usadas não consideram variações na demanda ou tempos de preparação de equipamentos no dimensionamento do kanban. Aplicar as fórmulas, neste caso, é correr o risco de ter falta de itens e prejudicar o desempenho da cadeia produtiva.

Para exemplificar a falha nas fórmulas pode-se imaginar a seguinte situação: um cliente necessita de 100 peças por dia. O processo fornecedor, porém, tem capacidade de produzir lotes de no mínimo 500 peças devido à complexidade de suas trocas de ferramentas. Imaginando que o cliente retire as peças do supermercado uma vez por dia, tem-se um intervalo entre entregas de um dia. Se o processo de cada peça é rápido, e a confiabilidade do processo fornecedor é alta, o tamanho do estoque calculado pela fórmula 2.3 seria em torno de 100 peças, o que seria impraticável pelo processo fornecedor.

Quanto às simulações para calcular o número de kanbans, podemos afirmar que são de difícil aplicação em empresas. A necessidade de se modelarem os processos, a demanda, criar fórmulas para corrigir os tempos dos processos e para a segurança, requer muito tempo e pessoas altamente especializadas. As empresas, normalmente, não conseguem fazer este trabalho com a sua própria mão-de-obra e buscam apoio externo. O problema de se buscar uma solução destas é que a empresa se torna dependente desta força externa para fazer os ajustes no supermercado para variações na demanda e nos processos produtivos.

A utilização correta dos quadros de kanban, ou de nivelamento, corretamente também é bastante rara. A sua montagem apresenta uma série de dificuldades que a literatura técnica pesquisada não discute. A primeira dificuldade é quanto ao correto cálculo da quantidade de kanbans que foi ressaltada. A segunda se refere ao significado e o dimensionamento das faixas. Por fim, a determinação do ritmo da linha não é trivial em casos com tempos de processo diferentes, ou com embalagens de diferentes capacidades. A marcação de horários sob a ordem de produção é um desafio nestes casos.

Percebe-se que há espaço para a criação de um método para o cálculo de kanbans que seja mais preciso do que as fórmulas usadas atualmente, e mais prático do que as simulações. Além disso, a falta de informações no que diz respeito ao gerenciamento visual da produção no caso da produção puxada também abre espaço para um trabalho nesta área. Estes dois aspectos são fundamentais para que se possa, de fato, ter os benefícios da produção puxada e do nivelamento da produção.

Capítulo 3

Método para Determinação do Número de Kanbans

Os métodos de cálculo de kanban encontrados na teoria, como foi dito anteriormente, ou são muito simples, ou muito complexos. Isto acaba por inibir as empresas a utilizarem o sistema ou desacreditá-lo.

O número de kanbans determina o tamanho do estoque em processo de um determinado item (Aytug e Dogan, 1999). A determinação incorreta desta quantidade de cartões pode acarretar dois graves problemas: falta de peças ou estoque em excesso. Além disto, como a programação da produção está no chão-de-fábrica, o método de cálculo de kanbans deve se preocupar em facilitar este trabalho dos operadores.

Este capítulo apresenta um novo método de cálculo do número de kanbans de produção e de retirada. A quantidade de cartões de produção será organizada de tal forma que torne o trabalho de programação imediato e eficiente. Um procedimento de programação da produção utilizando o kanban também será apresentado.

3.1 A composição dos supermercados

O supermercado no kanban pode ser dividido em duas partes: o estoque de segurança e a flutuação. O estoque de flutuação é aquele usado pelo cliente, e que deve ser reabastecido antes de se utilizar o estoque de segurança, que existe para eventualidades.

O Sistema Kanban baseia-se no princípio da visibilidade (Takahashi e Nakamura, 1999). Os operadores devem ser capazes de decidir sozinhos os itens a produzir e os instantes de iniciar e de parar sua produção. Para que isto seja feito, o quadro de kanbans deve mostrar de maneira clara estas informações.

Como dito anteriormente, estes quadros são divididos em faixas, nas cores verde, amarela e vermelha. A figura 3.1 mostra uma quantidade de cartões dividida em faixas. O significado das faixas amarela e vermelha está definido como tempo de preparação e de segurança, respectivamente. Porém, o significado da faixa verde não está claro. Conseqüentemente, o procedimento de utilização dos quadros também não está. Nas seções seguintes, serão definidas e dimensionadas as faixas e, finalmente, será descrito um procedimento de uso do quadro de kanbans.

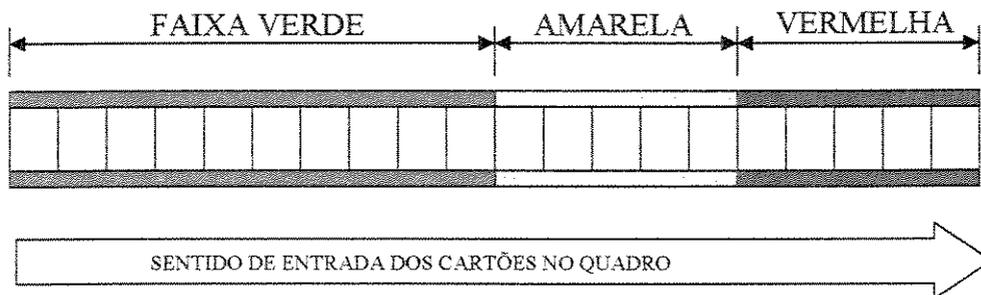


Figura 3.1: Supermercado dividido em faixas coloridas.

3.2 Fatores que influenciam o tamanho dos estoques

É importante entender os fatores que influenciam o tamanho dos estoques antes de entrar nos cálculos. Alguns fatores dependem do processo cliente e outros do processo fornecedor. Alguns deles já foram mencionados, como o tempo de preparação dos equipamentos e o nivelamento da produção. Agora, será feita uma análise mais profunda de cada um deles.

3.2.1 Fatores que dependem do processo fornecedor

- Nivelamento da Produção:

A capacidade de produzir todos os produtos dentro de intervalos de tempos cada vez menores permite grandes reduções nos níveis de estoque.

Existe, entretanto, um fator que impede que o estoque de produtos acabados baixe drasticamente, mesmo para uma empresa que consegue nivelar dentro de um intervalo apertado: a distância. Devido aos custos de frete, acabam-se fazendo pedidos semanais, ou mesmo diários. Desta maneira, o fornecedor tem de construir um estoque para atender estes pedidos. Não se pode esquecer, porém, que durante a semana o cliente pode modificar seu pedido. Quando os fornecedores têm capacidade de nivelar sua produção, eles produzem lotes menores e podem alterar os pedidos sem grandes prejuízos. Vale também dizer, que os estoques de matéria-prima podem ser reduzidos pelas empresas que nivelam a produção, ou seja, apesar do cliente lançar um pedido semanal, a empresa fornecedora pode comprar matéria-prima diariamente.

- Tempo de Preparação dos Equipamentos:

O tempo de preparação de equipamentos não só viabiliza o nivelamento da produção, como também tem impacto direto no dimensionamento de kanbans. Como será apresentado na próxima seção, quando chega o momento de se iniciar a produção de um item, os operadores devem fazer a preparação da linha. Durante este tempo, o cliente continua a consumir o estoque. Deste modo, quanto mais longo for este período, maior a quantidade de peças para suportar este consumo.

- Tempo de processo do lote de transferência:

Similarmente ao tempo de preparação da linha, o tempo de processo do lote de transferência também contribui para aumentar os níveis dos supermercados. Enquanto a linha está fazendo a preparação o cliente continua a consumir peças. Do momento em que a linha está

pronta para produzir até o tempo em que se encerra a produção da quantidade de peças para encher a embalagem de transferência, o cliente continua a consumir as peças do supermercado. Quanto maior esta quantidade por embalagem, maior o tempo de produzi-la e, conseqüentemente, maior a quantidade de peças que devem estar disponíveis para o cliente.

- Tempo de entrega para o supermercado, cliente interno ou expedição:

Assim como os itens anteriores, até o fornecedor entregar a matéria-prima para o cliente, este continua a consumir seus supermercados. Portanto, se a entrega leva alguns minutos, deve existir um estoque que suporte este tempo, para que o cliente não tenha de ficar esperando por material.

- Tempo de fila:

É um tempo estimado, que ocorre porque há variações no ritmo de consumo do cliente e podem ocorrer atrasos na produção dos lotes. Nestes casos, quando é hora de produzir um determinado item, a máquina ainda está processando o lote anterior. Assim, demora-se mais para se iniciar a produção do item, enquanto o cliente continua a consumir as peças do supermercado.

3.2.2 Fatores que dependem do Processo cliente

- Nivelamento da produção:

O modo como o cliente faz seus pedidos tem impacto direto nos estoques do fornecedor como já foi explicado no Capítulo 2.

- Variação na demanda:

Variações no volume e no mix de produtos contribuem para o aumento da quantidade de material em estoque. As proteções do sistema têm de ser aumentadas para suportar estas variações.

- Número de entregas por período:

O intervalo entre entregas está diretamente relacionado ao tamanho dos supermercados. Este e o nivelamento da produção são importantíssimos para o dimensionamento dos níveis de estoque.

Exemplificando: se um cliente produz 2 tipos de computadores. São 600 unidades do tipo A produzidas diariamente, e 200 do tipo B (proporção de 3:1). Os dois modelos usam gabinetes diferentes.

A empresa que produz os gabinetes trabalha 8 horas por dia e tem uma linha dedicada para este cliente.

Qual seria o estoque necessário de gabinetes prontos para serem enviados para o cliente em quatro situações distintas:

- a) Cliente monta computadores dos tipos A e B a cada duas horas na proporção de 3:1. São feitas quatro entregas por dia (de duas em duas horas);
- b) Cliente monta computadores dos tipos A e B a cada duas horas na proporção de 3:1. É feita uma entrega por dia apenas;
- c) Cliente monta computadores em lotes e recebe os gabinetes quatro vezes ao dia (de duas em duas horas);
- d) Cliente monta computadores em lotes e recebe gabinetes apenas uma vez ao dia;

A tabela 3.1 indica a quantidade de gabinetes necessários no estoque do fornecedor nas quatro situações descritas acima. Quando o cliente monta os computadores a cada duas horas na proporção de 3:1, ele está montando 150 computadores do tipo A e 50 do tipo B. Se o cliente monta em lotes, num intervalo de duas horas ele pode montar 200 computadores do tipo A ou 200 do tipo B.

Tabela 3.1: Quantidade de gabinetes prontos em estoque para entregar para o cliente

Modelos de gabinetes	Demanda (dia)	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
A	600	150	600	200	600
B	200	50	200	200	200
TOTAL	800	200	800	400	800

Observa-se que, se o cliente e o fornecedor estão próximos, e se a entrega pode ser feita a cada duas horas, a maneira como o cliente produz pode propiciar uma redução drástica de estoque. Quando as distâncias ficam maiores, os benefícios do nivelamento da produção no tamanho dos estoques ficam menores.

- Ritmo de consumo do cliente:

O ritmo de consumo do cliente influencia também o tamanho dos supermercados. Quando o cliente consome as peças mais rapidamente do que o processo fornecedor consegue produzir, a quantidade de peças no supermercado deve ser maior do que se os dois processos trabalhassem à mesma velocidade.

Nos casos em que o cliente é mais rápido, normalmente, o processo fornecedor trabalha mais horas do que o seu cliente. Durante estas horas em que o fornecedor está produzindo e o cliente está parado, o supermercado é cheio de peças. No momento em que o cliente encerra sua produção, este supermercado deve estar no seu nível mínimo. Existe, portanto, uma variação grande no nível do supermercado.

3.3 Definição das faixas e do procedimento de utilização do quadro

Definiu-se as faixas verde e amarela como o estoque de flutuação, e a faixa vermelha como o estoque de segurança. O procedimento de utilização é descrito a seguir.

Os cartões de produção, à medida que o cliente consome o estoque, são colocados no quadro da esquerda para a direita conforme mostra a figura 3.1. No instante em que entra o primeiro cartão sobre a faixa amarela, a linha começa a produzir o item. A faixa amarela deve comportar uma quantidade tal de cartões de forma a permitir que a linha termine de produzir o lote que estava fazendo, faça a preparação dos equipamentos para o novo modelo, produza a quantidade necessária ao cliente na próxima entrega, e coloque esta quantidade no lugar desejado pelo cliente.

No gráfico 3.1, exemplifica-se o procedimento proposto. O cliente consome as peças do supermercado, num dado ritmo ao longo do dia. Num certo momento, indicado pela letra A na figura, o supermercado atinge um certo nível que diz para o processo fornecedor que é hora de produzir este modelo. Neste instante a linha deve terminar o que está fazendo. Fazer a preparação dos equipamentos e começar a produção. O ponto B na figura indica este instante. Durante todo este tempo do ponto A ao ponto B, o cliente continuou a consumir peças.

A partir do ponto B, o processo fornecedor já está produzindo e entregando para o seu cliente. Ele pára de produzir no instante que ele completou o lote de produção. Neste instante ele pode iniciar a produção de um outro modelo.

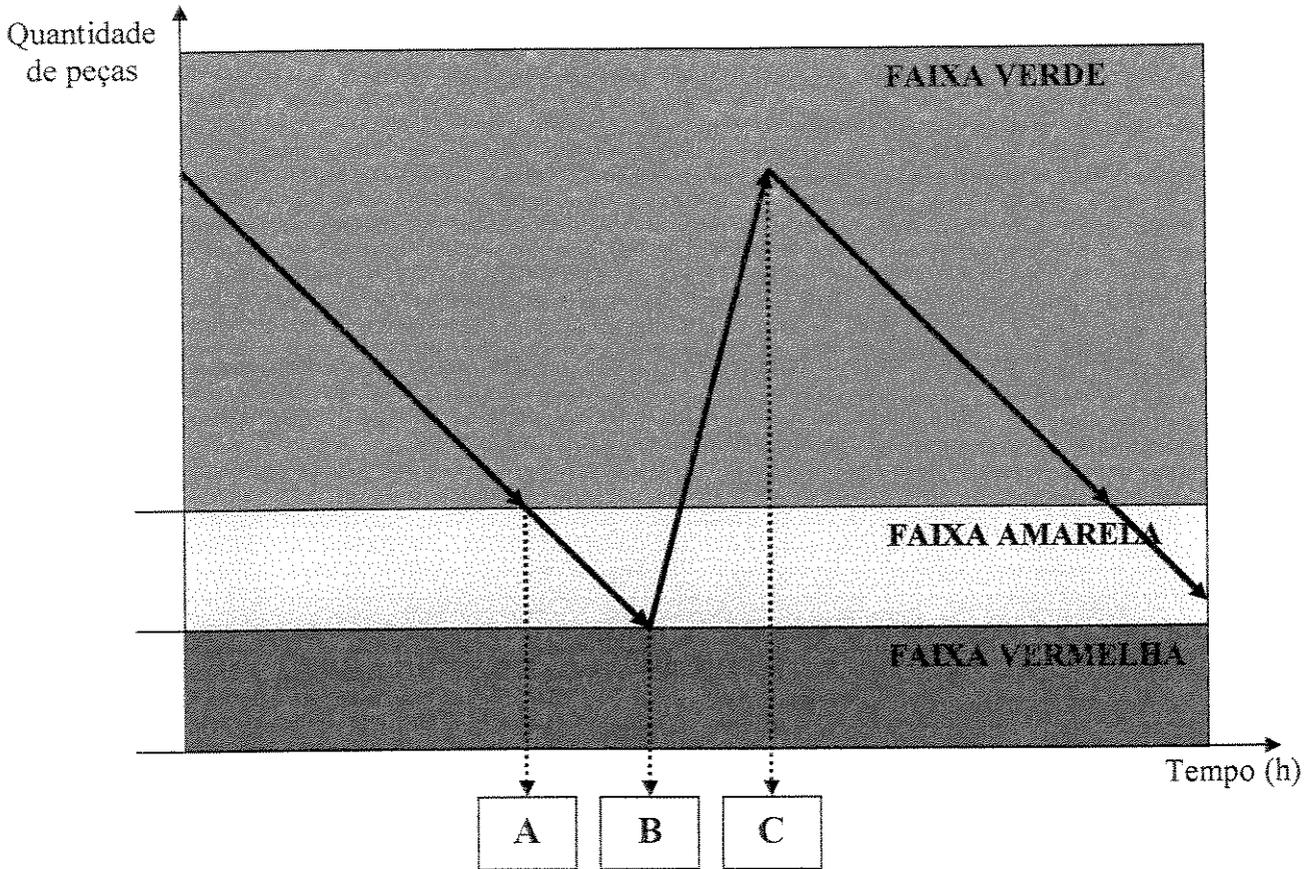


Gráfico 3.1: Dinâmica de utilização do quadro.

O tempo para transportar as peças do fornecedor para o cliente precisa ser considerado para o dimensionamento da faixa amarela. Como foi explicado, enquanto as peças não chegarem até o cliente, ele continuará a consumir o seu supermercado. Caso este percurso leve uma hora, o cliente deve ter a quantidade de peças que ele pode consumir durante este tempo para que a produção não seja interrompida.

A faixa vermelha deve ser grande o suficiente para acomodar os cartões correspondentes à segurança requerida. O estoque de segurança não deve ser utilizado em situações normais. Este estoque, normalmente, é definido em dias ou horas de consumo do cliente. É o tempo que as empresas temem ficar impossibilitadas de produzir.

As razões mais comuns que justificam a segurança são quebras de equipamentos e risco de falta de material, variações de volume e *mix*. Atrasos na preparação dos equipamentos, e problemas de qualidade provocam o uso do estoque de segurança. Se tudo correr bem, a faixa vermelha nunca deve ter cartões.

A faixa verde deve sempre ter cartões. É ela quem permite à linha produzir outros itens. A quantidade de cartões na faixa verde é o tamanho do lote que será produzido. No caso de linhas de montagem, pode ser a demanda do período dividido pelo número de vezes que o item será produzido. Ao apresentar o método de dimensionamento da faixa verde entender-se-á a importância do nivelamento da produção.

Pode-se resumir a definição de cada faixa da seguinte maneira:

Faixa vermelha: É a parte do supermercado relativa à segurança do processo fornecedor. Esta quantidade de peças só deve ser usada em casos especiais.

Faixa amarela: É a quantidade de peças que é consumida do instante em que se verifica a necessidade de produzir um item, até a produção e entrega, no supermercado, da quantidade de peças necessária ao cliente na próxima entrega.

Faixa verde: É o tamanho do lote de produção. A faixa verde dá capacidade para a linha de produzir os outros produtos. É nesta faixa que se entende a importância do nivelamento da produção.

3.4 Dimensionamento das faixas

O método de cálculo dos kanbans de produção será apresentado agora. Mais adiante será apresentado o método de cálculo dos kanbans de retirada.

3.4.1 Dimensionamento da Faixa Vermelha

Para dimensionar a faixa vermelha precisam ser respondidas duas perguntas:

- A demanda é nivelada a cada entrega?

Se a resposta for positiva significa que a quantidade de peças que se deve manter no supermercado como segurança é o número máximo de peças de cada modelo que podem ser consumidas neste período. Este cálculo é feito através das equações 3.1 e 3.2.

$$FaixaVermelha = \frac{DP(peças)}{\sum DP(peças)} \times \left(\frac{S(h) \times 60(\text{min}/h)}{RC(\text{min}/peça)} \right) \div C \quad (3.1)$$

$$RC = \frac{TDP(\text{min})}{\sum DP(peças)} \quad (3.2)$$

Onde:

DP: É a demanda do item num determinado período de tempo (horário, diário, semanal, mensal, etc.).

$\sum DP$: É a somatória da demanda de todos os itens no mesmo período de tempo (mensal, semanal, diária, etc.).

S: Dado em horas, é o tempo que a linha pode ficar sem produzir sem afetar o cliente.

RC: É o ritmo de consumo do cliente em minutos por peça. Nota-se que quando o ritmo de consumo aumenta, a faixa vermelha também aumenta.

TDP: É o tempo disponível para produzir no período.

C: Capacidade de peças por embalagem.

Se a resposta a esta pergunta for negativa, deve-se perguntar:

- A demanda diária, semanal ou mensal do item pode ser consumida pelo cliente durante este período de segurança?

Se a resposta for positiva, deve-se ter no estoque de segurança a própria demanda do período. Consideremos o seguinte exemplo: a demanda de uma linha é de 1000 peças diárias, e a linha trabalha 10 horas durante cinco dias por semana. O seu ritmo de produção, que é o ritmo da demanda do cliente, é de 100 peças por hora. A demanda semanal de um determinado modelo é de apenas 100 peças. O cliente, neste caso, não nivela sua produção e, portanto, ao invés de consumir as 100 peças deste item ao longo da semana, ele pode consumir este lote todo em uma hora (que é o seu ritmo de consumo).

Levantou-se a informação que a quebra média da linha é de 2 horas. A partir disto, definiu-se que deve haver um estoque de segurança contra uma parada deste tamanho. De quantas peças deve ser o estoque de segurança deste item específico? A demanda semanal, que é de 100 peças, pode ser consumida inteira dentro deste intervalo de segurança, que é de 2 horas. Para esta situação aplica-se a equação 3.3.

$$FaixaVermelha = DP(peças) \div C \quad (3.3)$$

Se a resposta à segunda pergunta for negativa, a quantidade de peças em estoque não precisa mais ser toda a demanda do intervalo. Modificando o exemplo anterior tem-se: a demanda semanal daquele item aumentou para 500 peças semanais. A segurança desejada continua sendo de 2 horas, porém, agora não se deve mais usar a fórmula anterior. Nas 2 horas que a linha fique impossibilitada de produzir, a máxima quantidade de peças que o cliente pode consumir são 200 peças. A equação a ser usada neste caso é a equação 3.4.

$$FaixaVermelha = \frac{S(h) \times 60 \left(\frac{\text{min}}{h} \right)}{RC \left(\frac{\text{min}}{\text{peças}} \right)} \div C \quad (3.4)$$

3.4.2 Dimensionamento da Faixa Verde

O dimensionamento da faixa verde é bastante simples. Só se precisa saber o número de vezes que o item será produzido dentro de um período de tempo. Esta informação, normalmente, é definida pela capacidade da empresa de fazer trocas de ferramentas ou pelo intervalo entre entregas no caso de não haver tempo de preparação de equipamentos. A equação 3.5 calcula a quantidade de embalagens que devem ser produzidas pela linha.

$$FaixaVerde = \frac{DP(\text{peças})}{NT} \div C \quad (3.5)$$

Onde:

NT: É o número de vezes que a linha produzirá este item. Se um item não gasta tempo com a preparação, pode-se considerar o número de vezes que a linha pretende produzir o item neste período.

Empresas que produzem itens para exportação uma vez por semana normalmente colocam a produção o mais perto possível da entrega. Fazendo um grande lote que fica pouco tempo dentro da empresa. Este é um caso em que o kanban não é uma boa solução para controlar a produção e para dimensionar estoques.

3.4.3 Dimensionamento da Faixa Amarela

Para o dimensionamento da faixa amarela também é necessário responder algumas perguntas:

- A demanda é nivelada a cada entrega?

Se a resposta for afirmativa, durante o período que a linha estiver se preparando para produzir, até o lote de transferência estar pronto e disponível para o cliente, a quantidade de embalagens que deve existir no supermercado é dada pela equação 3.6, usando as equações 3.7 e 3.8.

$$FaixaAmarela = \frac{DP(peças)}{\sum DP(peças)} \times \left(\frac{LTr(\min)}{RC(\min/peça)} \right) \div C \quad (3.6)$$

$$LTr = TR + TF + TT + TE + IE \quad (3.7)$$

$$IE = \frac{TH(\min)}{NE} \quad (3.8)$$

Onde:

LTr: É o *lead time* de reposição do item. É o tempo total desde que se identifica a necessidade de se produzir um item até a sua produção e disponibilização no supermercado.

TR: É o tempo de preparação da linha para começar a produzir este modelo.

TF: É a estimativa do tempo de fila.

TT: É o tempo para levar as peças para o local onde o cliente as retira (pode ser um supermercado, a expedição ou a própria linha).

TE: É o tempo de produzir uma embalagem.

TH: É o tempo total de horas trabalhadas pelo cliente, produzindo ou não.

IE: É o tempo entre duas entregas para o cliente.

NE: É o número de entregas no período.

Analisando as equações anteriores, se os processos têm tempo de preparação bastante longo, a embalagem acomoda muitas peças, e o número de entregas para o cliente é baixo no período, esta quantidade de embalagens torna-se enorme.

Se a produção não for nivelada, é necessário se fazer a seguinte pergunta:

- A demanda diária, semanal ou mensal do item pode ser consumida pelo cliente durante o tempo de preparação e entrega para o supermercado (*lead time* de reposição)?

Este é o caso análogo àquele explicado durante o dimensionamento da faixa vermelha. Caso o *lead time* de reposição seja muito longo, ou se a demanda num certo período de um item for muito baixa, existe a possibilidade de que durante estas horas do *lead time* de reposição, toda esta demanda seja consumida. Neste caso usa-se a equação 3.9 para dimensionar a quantidade de embalagens na faixa amarela:

$$FaixaAmarela = DP(peças) \div C \quad (3.9)$$

No caso de resposta negativa para a última pergunta, tem-se, como a máxima quantidade de peças que podem ser consumidas durante o *lead time* de reposição:

$$FaixaAmarela = \left(\frac{LTr(\min)}{RC(\min/peça)} \right) \div C \quad (3.10)$$

Observando as equações acima, percebe-se que a variação de demanda não apareceu em nenhuma equação. Isto se deve ao fato de que no dimensionamento da faixa amarela já existe uma folga representada pelo tempo de fila. Além disso, o dimensionamento da faixa vermelha costuma ser bastante conservador nas empresas, o que acaba formando mais uma folga. Desse modo, consideram-se estas proteções suficientes para uma variação ocasional de demanda por volta de 20%. Caso estas variações ocorram com maior frequência, é interessante inseri-la na demanda semanal ou diária do item. Para variações maiores e esporádicas devem ser buscadas alternativas de controle da produção.

3.5 Apresentação da Planilha de Cálculo de Kanban

As equações apresentadas nas seções anteriores foram inseridas em uma planilha de cálculo que será explicada nesta seção. Assim, torna-se bastante rápido o dimensionamento do número de kanbans de produção. As tabelas 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5, tiradas desta planilha, têm campos em branco onde são inseridos valores observados, os demais valores são calculados automaticamente.

Um exemplo teórico e um exemplo prático, ambos desenvolvidos no decorrer deste trabalho, são apresentados a seguir. O exemplo teórico apresentará duas situações: com a demanda nivelada e não nivelada.

3.5.1 Exemplo Teórico de Aplicação – Kanban de Produção

Demanda Nivelada:

Uma empresa que trabalha 2 turnos de 8,9 horas. Descontando-se as paradas programadas, como almoço, café e reuniões, restam 8 horas por turno. A linha trabalha cinco dias por semana, tem uma disponibilidade de seus equipamentos da ordem de 90%. Os equipamentos são relativamente simples e a equipe de manutenção resolve qualquer tipo de problema em no máximo um turno. O cliente é interno e está próximo fisicamente. O tempo de transporte das peças para o supermercado é de cerca de 10 minutos. O processo de produção consiste basicamente de uma usinagem, montagens e uma etapa de soldagem.

O cliente busca peças no supermercado a cada 2 horas. O cliente também trabalha 2 turnos de 8 horas (paradas descontadas) com uma disponibilidade de 90%. São 40 retiradas de material do supermercado por semana. Ele trabalha de maneira nivelada, consumindo todas as peças a cada retirada do supermercado. As demandas semanais dos três itens são respectivamente 2000, 1000 e 400 peças, resultando em um consumo de 3400 peças por semana.

Depois que o processo fornecedor terminou a preparação dos equipamentos e a primeira peça boa foi produzida, as peças são produzidas a cada 60, 70 e 80 segundos, respectivamente.

Os tempos de preparação são da ordem de 10 minutos para cada peça. As embalagens acomodam 20 peças cada. O tempo de fila estimado é de uma hora.

Preenchendo as tabelas 3.2, 3.3, 3.4 e 3.6 com estas informações são geradas uma série de informações que aparecem nas células pintadas de cinza nestas três tabelas.

Tabela 3.2: Informações sobre o processo fornecedor

Horas por turno	8
Turnos por dia	2
Dias por semana	5
Horas por semana	80
Tempo útil (%)	90%
Horas disponíveis por semana	72

O valor de “Horas por semana” é calculado multiplicando-se o número de “Horas por turno”, “Turnos por dia” e “Dias por semana”. O valor de “Horas disponíveis por semana” é calculado multiplicando-se o número de “Horas por semana” pelo percentual de “Tempo útil”, isto é, do tempo que as máquinas, pessoas ou material, efetivamente, estão disponíveis para ocorrer a produção.

Tabela 3.3: Informações sobre o processo cliente

Horas por turno	8
Turnos por dia	2
Dias por semana	5
Horas por semana	80
Tempo útil (%)	90%
Horas disponíveis por semana	72
Ritmo de consumo do cliente (min/pç)	1,2706
Quantidade de retiradas por semana	40

O ritmo de consumo do cliente, da tabela 3.3 é resultado da divisão entre as “Horas disponíveis por semana”, em minutos, pela somatória da demanda semanal dos três itens, que neste caso são 3400 peças, e que foi tirado da tabela 3.4..

Tabela 3.4: Informações da demanda e do processo

Produto	Demanda Semanal	Tempo de ciclo por peça (s)	Tempo de processo da demanda semanal (h)	Tempo de preparação (min)	Número de preparações por semana	Tempo fazendo preparações (h)
A	2000	60,0	33,3	10	20	3,3
B	1000	70,0	19,4	10	20	3,3
C	400	80,0	8,9	10	20	3,3
Σ	3400		61,7		60	10,0

O “Tempo de processo da demanda semanal”, em horas, na tabela 3.4, é calculado multiplicando-se o “Tempo de ciclo por peça” pela “Demanda semanal” de cada item. O “Tempo fazendo preparações” é calculado multiplicando-se o “Número de preparações por semana” pelo “Tempo de preparação”.

Destas novas informações é gerada a tabela 3.5, que apresenta dados sobre a disponibilidade do processo fornecedor. Subtraindo-se o “Tempo de processo da demanda semanal”, da tabela 3.4, das “Horas disponíveis por semana”, que está na tabela 3.2, tem-se a diferença de 10,3 horas, mostrada na tabela 3.5. Estas são as horas disponíveis para fazer as preparações de equipamentos.

É neste momento que se decide qual o tamanho da faixa verde do supermercado. Quanto mais vezes se produzir um item por semana, menor é o tamanho do lote de produção, e, conseqüentemente, menor é o tamanho do supermercado. Para fazer isto, basta inserir na coluna chamada “Número de preparações por semana”, na tabela 3.4, este número de vezes. Porém, este é um processo interativo, afinal, para se fazerem muitas preparações é necessário haver tempo disponível.

A tabela 3.5 mostra que a diferença entre a soma do “Tempo de processo da demanda semanal”, com o “Tempo fazendo preparações”, ambos da tabela 3.4, e o valor gerado na tabela 3.2 chamado “Horas disponíveis para produzir”, resulta em “Horas restantes após as preparações”, que está mostrado na tabela 3.5. Este número deve ser maior do que zero, caso contrário deve-se rever o número de preparações por semana.

Tabela 3.5: Dados sobre a disponibilidade do processo fornecedor

Horas de produção por semana	61,7
Horas totais disponíveis para fazer preparações	10,3
Horas restantes após as preparações	0,3

O próximo passo é inserir na tabela 3.6, os dados sobre o supermercado.

Tabela 3.6: Dados sobre o supermercado

Demanda Nivelada? (S/N)	S
Segurança (h)	8
tempo de fila (h)	1
Tempo de transporte (min)	10

Finalmente tem-se, na tabela 3.7, a quantidade de kanbans necessários.

Tabela 3.7: Cálculo do número de kanbans (Nivelada)

Produto	Peças por embalagem	Faixa Vermelha	Faixa Amarela	Faixa Verde	Número Total de Kanbans
A	20	12	5	5	22
B	20	6	3	3	12
C	20	3	1	1	5

Agora será mostrado como foram feitos estes cálculos para a peça A. Os cálculos para as demais peças são análogos.

O cálculo da quantidade de embalagens na faixa vermelha é feito com a equação 3.1, afinal, foi dada a informação de que a retirada de peças do supermercado pelo cliente é nivelada. Isto quer dizer que ele sempre monta os três modelos a cada intervalo entre entregas.

$$FaixaVermelha = \frac{DP(peças)}{\sum DP(peças)} \times \left(\frac{S(h) \times 60(\text{min}/h)}{RC(\text{min}/peça)} \right) \div C \quad (3.1)$$

Inserindo os valores para o modelo A:

$$FaixaVermelha = \frac{2000}{3400} \times \left(\frac{8(h) \times 60(\text{min}/h)}{1,2706(\text{min}/peça)} \right) \div 20 \approx 12 \text{ embalagens}$$

A faixa verde é calculada através da equação 3.4, seja a produção nivelada ou não. Ela depende da quantidade de vezes que o item será produzido por semana.

$$FaixaVerde = \frac{DP(peças)}{NT} \div C \quad (3.5)$$

Inserindo valores para o modelo A:

$$FaixaVerde = \frac{2000}{20} \div 20 = 5 \text{ embalagens}$$

Para o cálculo da faixa amarela serão usadas as equações 3.6, 3.7 e 3.8, afinal, a demanda é nivelada.

$$FaixaAmarela = \frac{DP(peças)}{\sum DP(peças)} \times \left(\frac{LTr(\min)}{RC(\min/peça)} \right) \div C \quad (3.6)$$

$$LTr = TR + TF + TT + TE + IE \quad (3.7)$$

$$IE = \frac{TH(\min)}{NE} \quad (3.8)$$

Inserindo os valores do modelo A temos:

$$IE = \frac{80 \times 60}{40} = 120 \text{ min utos}$$

$$LTr = 10 + 1 \times 60 + 10 + 20 \times 60 \div 60 + 120 = 220 \text{ min utos}$$

$$FaixaAmarela = \frac{2000}{3400} \times \left(\frac{220}{1,2706} \right) \div 20 \approx 5 \text{ embalagens}$$

Esta é a quantidade de kanbans no caso da demanda ser nivelada. A vantagem de se criar uma planilha de cálculos deste tipo é que podem ser feitas comparações sobre o tamanho dos supermercados em diferentes situações. Por exemplo, imagine que a manutenção consiga reduzir o tempo de resolução da maioria dos problemas para quatro horas ao invés de oito horas. Isto trará uma forte redução no tamanho do supermercado. Uma outra simulação que pode ser feita está no exemplo a seguir.

Demanda Não Nivelada:

Se no exemplo anterior for mudada a informação sobre a retirada de peças do supermercado, a demanda não é mais nivelada. Isto significa que o cliente pode produzir um dos três modelos durante alguns dias da semana sem produzir uma peça sequer dos outros dois modelos.

As tabelas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 não se alteram. Apenas a tabela 3.6 sofre uma modificação. No campo onde se informa se a demanda é nivelada a cada retirada do cliente, ao invés de um “S” é colocado um “N”, da palavra “não”, conforme mostra a tabela 3.8.

Tabela 3.8: Dados sobre o supermercado

Demanda Nivelada? (S/N)	N
Segurança (h)	8
tempo de fila (h)	1
Tempo de transporte (min)	10

A quantidade de kanbans de produção, isto é, das embalagens no supermercado, fica conforme mostrado na tabela 3.9.

Tabela 3.9: Cálculo do número de kanbans (Não Nivelada)

Produto	Peças por embalagem	Faixa Vermelha	Faixa Amarela	Faixa Verde	Número Total de Kanbans
A	20	19	9	5	33
B	20	19	9	3	31
C	20	19	9	1	29

Percebe-se que esta quantidade de embalagens é bastante superior à do exemplo anterior para os mesmos dados. De maneira análoga ao que foi feito no exemplo anterior, será calculada a quantidade de embalagens de cada faixa para o modelo A.

Como a demanda não é nivelada, não será usada a equação 3.1 para calcular a quantidade de cartões da faixa vermelha. Para este caso precisamos responder a pergunta: a demanda semanal do item pode ser consumida pelo cliente durante este período de segurança?

O que se quer saber fazendo esta pergunta é: durante estas 8 horas em que o processo fornecedor pode ficar impossibilitado de produzir, existe a possibilidade do cliente consumir toda a demanda semanal de algum destes três itens?

Para responder esta pergunta precisa-se calcular qual a quantidade de peças que o cliente pode consumir durante estas 8 horas. Como se conhece o ritmo de consumo por minuto do cliente, que foi calculado usando a equação 3.2, usa-se a equação 3.11.

$$\text{ConsumoSegurança} = \frac{S(h) \times 60 \left(\frac{\text{min}}{h} \right)}{RC \left(\frac{\text{min}}{\text{peças}} \right)} \quad (3.11)$$

Inserindo os valores do exemplo:

$$\text{ConsumoSegurança} = \frac{8 \times 60}{1,2706} \approx 378 \text{ peças}$$

Como a demanda semanal do produto A é de 2000 peças, o cliente não consegue consumir a demanda semanal deste modelo nestas 8 horas. Pode-se afirmar que os modelos B e C também têm demanda semanal maior do que esta quantidade. Logo, a resposta a esta pergunta é negativa para os 3 produtos e, portanto, a maneira de determinar o número de cartões na faixa vermelha é a mesma para todos. Neste caso foi usada a equação 3.4 para o cálculo da faixa vermelha.

$$\text{FaixaVermelha} = \frac{S(h) \times 60 \left(\frac{\text{min}}{h} \right)}{RC \left(\frac{\text{min}}{\text{peças}} \right)} \div C \quad (3.5)$$

Inserindo valores temos:

$$\text{FaixaVermelha} = \frac{8 \times 60}{1,2706} \div 20 \approx 19 \text{ embalagens}$$

O cálculo da faixa verde depende do número de vezes que a linha produzirá cada modelo. Uma vez que a linha continuará fazendo o mesmo número de preparações, o número de cartões da faixa verde não se alterou conforme pôde ser observado na tabela 3.9.

A determinação do número de cartões sobre a faixa amarela foi feita respondendo-se a pergunta: A demanda semanal do item pode ser consumida pelo cliente durante o tempo de preparação e entrega para o supermercado (lead time de reposição)?

O *lead time* de reposição já foi calculado para o exemplo anterior. Ele é igual a 208 minutos. O que se quer saber fazendo esta pergunta é: durante estes 108 minutos que o processo fornecedor leva para produzir e entregar a quantidade de peças que o cliente leva a cada retirada do supermercado, existe a possibilidade do cliente consumir toda a demanda semanal de algum destes três itens?

Precisa-se calcular a quantidade de peças que são consumidas durante este tempo. Isto é feito através da equação 3.12 que é bem parecida com a equação 3.11.

$$\text{ConsumoLTr} = \frac{\text{LTr}(\text{min})}{\text{RC} \left(\frac{\text{min}}{\text{peças}} \right)} \quad (3.12)$$

Inserindo os valores do exemplo:

$$\text{ConsumoSegurança} = \frac{220}{1,2706} \approx 173 \text{ peças}$$

Como a demanda semanal dos três produtos é maior do que esta quantidade, foi usada a equação 3.7 para calcular o número de cartões sobre a faixa amarela.

$$\text{FaixaAmarela} = \left(\frac{\text{LTr}(\text{min})}{\text{RC}(\text{min/peça})} \right) \div C \quad (3.10)$$

Inserindo valores na equação, temos:

$$FaixaAmarela = \left(\frac{220}{1,2706} \right) \div 20 \approx 9 \text{ embalagens}$$

Comparando-se os dois exemplos fica claro como aumentam os supermercados quando a demanda não é nivelada.

3.5.2 Exemplo Prático de Aplicação – Kanban de Produção

Durante o decorrer deste trabalho a Visteon Sistemas Automotivos abriu suas portas para o desenvolvimento da produção puxada no seu chão de fábrica. Esta empresa atua em quatro grandes segmentos: eletrônica, montando rádios e controles eletrônicos para automóveis; plásticos, injetando e montando os painéis dos veículos e seus componentes; chassis, usinando e montando a caixa da direção de automóveis; e ETS, que fabrica motores de partida, bombas de combustível, e outras partes do motor. A Visteon fornece sistemas para as maiores montadoras de veículos do mundo como a Ford, GM, VW, Honda, Toyota, Peugeot, entre outras.

A produção puxada tem sido bastante aplicada por esta empresa em todas as suas divisões. A área que será focada neste exemplo é uma linha que produz bobinas que são montadas no painel de um veículo da Ford. Esta linha trabalha apenas um turno de 8 horas por dia e produz sete diferentes modelos. Por não haver equipamentos problemáticos, um estoque de segurança de 2 horas é suficiente para a manutenção solucionar a maioria dos problemas. A utilização da linha é de cerca de 96% do tempo.

Os clientes desta linha estão todos próximos fisicamente. Eles também trabalham apenas um turno por dia. A utilização dos equipamentos nos clientes é bastante plena, em torno de 95%. O sistema de kanban utilizado aqui é de um cartão apenas. O único supermercado que existe é aquele junto da linha de bobinas. A cada duas horas, em média, os clientes buscam material neste supermercado. Isto resulta em 4 retiradas por dia do supermercado em média.

O tempo de preparação dos equipamentos do processo fornecedor foi bastante melhorado nos últimos anos e está em torno de 10 minutos. O tempo de fila estimado pela linha foi de 20 minutos. Os tempos de ciclo de cada modelo estão inseridos na tabela 3.12 bem como o número de preparações por modelo por semana. Similarmente ao exemplo teórico, tem-se as tabelas 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13.

Tabela 3.10: Informações sobre o processo fornecedor (exemplo prático)

Horas por turno	8
Turnos por dia	1
Dias por semana	5
Horas por semana	40
Tempo útil (%)	96%
Horas disponíveis por semana	38,4

Tabela 3.11: Informações sobre o processo cliente (exemplo prático)

Horas por turno	8
Turnos por dia	1
Dias por semana	5
Horas por semana	40
Tempo útil (%)	95%
Horas disponíveis por semana	38
ritmo de consumo do cliente (min/pç)	0,2818
frequência de retiradas por semana	20

Tabela 3.12: Informações da demanda e de processo (exemplo prático)

Produto	Demanda Semanal	Tempo de ciclo por peça (s)	Tempo de processo da demanda semanal (h)	Tempo de preparação (min)	Número de preparações por semana	Tempo fazendo os setups (h)
A	900	10,5	2,6	10	5	0,8
B	870	12,0	2,9	10	5	0,8
C	720	12,0	2,4	10	5	0,8
D	750	14,1	2,9	10	10	1,7
E	1250	14,1	4,9	10	8	1,3
F	1200	18,0	6,0	10	8	1,3
G	2400	12,0	8,0	10	8	1,3
Σ	8090		29,8		49	8,2

Na tabela 3.12 é inserida na coluna de “Número de preparações por semana” o número desejado de vezes que cada item será produzido por semana. A tabela 3.13 diz se isto é possível.

Tabela 3.13: Dados sobre a disponibilidade do processo fornecedor (exemplo prático)

Horas de produção por semana	29,8
Horas totais disponíveis para fazer preparações	9,4
Horas restantes após as preparações	0,5

Como o número de “Horas restantes após as preparações” é positivo, esta quantidade de preparações por semana é factível. É importante ressaltar que este foi um trabalho iterativo. Este número de preparações se baseou nas características da linha e foi distribuído pelos diversos modelos de modo a fazer o máximo de preparações sem extrapolar as “Horas totais disponíveis para fazer as preparações”.

Na tabela 3.14 são inseridas as informações sobre o supermercado.

Tabela 3.14: Dados sobre o supermercado (exemplo prático)

Demanda Nivelada? (S/N)	S
Segurança (h)	2
tempo de fila (h)	0,3
Tempo de transporte (min)	5

Na tabela 3.15 são mostradas as quantidades de cartões de cada modelo deste exemplo. Foram usadas as mesmas equações do exemplo teórico para a demanda nivelada.

Tabela 3.15: Cálculo do número de kanbans (exemplo prático)

Produto	Peças por embalagem	Faixa Vermelha	Faixa Amarela	Faixa Verde	Número Total de Kanbans
A	36	2	2	5	9
B	49	1	2	4	7
C	49	1	2	3	6
D	49	1	2	2	5
E	81	1	2	2	5
F	81	1	2	2	5
G	81	2	3	4	9

3.6 Cálculo da quantidade de kanbans de retirada

O cálculo da quantidade dos cartões de retirada depende apenas dos fatores relacionados ao processo cliente. Resumidamente, depende do ritmo de retirada do cliente e da frequência de retiradas do supermercado. Podem-se citar como fatores fundamentais no cálculo da quantidade de kanbans de retirada:

- Intervalo entre entregas:

É o intervalo de tempo entre duas coletas de cartões de um mesmo posto de trabalho. Ele é calculado dividindo-se o tempo de trabalho de um determinado período, como por exemplo, de um turno, pelo número de vezes que se buscará material no supermercado dentro do turno.

- Tempo de abastecimento da linha:

É o tempo total medido a partir da saída do abastecedor, de uma posição de trabalho específica do processo cliente, com os cartões de retirada, até a sua volta ao mesmo ponto com as peças necessárias. As posições de trabalho devem ter material para suportar este tempo de viagem do abastecedor.

- Segurança no transporte:

É a quantidade de material que deve existir na linha para qualquer eventualidade que possa ocorrer com o transporte das peças, como por exemplo, o abastecedor não encontrar o material no supermercado, o equipamento de transporte não estiver disponível, etc.

Conhecendo-se estes fatores, juntamente com o ritmo de consumo de peças pelo cliente, e a forma como são consumidas estas peças, isto é, de maneira nivelada ou não, calcula-se a quantidade de kanbans de retirada.

Se a demanda for nivelada dentro do intervalo entre entregas usa-se a equação 3.13.

$$Kanbans\ Retirada = \frac{DP(peças)}{\sum DP(peças)} \times \left(\frac{(IE(h) + TA(h) + St(h)) \times 60(\text{min}/h)}{RC(\text{min}/peça)} \right) \div C \quad (3.13)$$

Onde:

TA: Tempo, em horas, entre sair com os cartões até voltar com material ao mesmo ponto.

St: Tempo de segurança, em horas, para suportar problemas relacionados ao transporte de material.

Se a demanda não for nivelada responde-se a seguinte pergunta:

- A demanda diária, semanal ou mensal do item é menor do que a quantidade de peças que o processo cliente pode consumir neste intervalo?

Se a resposta for afirmativa, a demanda do item é bastante baixa. Exemplificando: se a demanda horária é de 100 peças. O intervalo entre entregas é de duas horas, o tempo de abastecimento é de 1 hora e a segurança desejada para o transporte é de uma hora. Somando-se estes três tempos, temos de ter cartões suficientes para 4 horas de consumo da linha. Isto significa 400 peças. Se a demanda semanal do item for menor do que esta quantidade, o número de kanbans de retirada será dado pela equação 3.14.

$$\text{Kanbans Retirada} = DP(\text{peças}) \div C \quad (3.14)$$

Caso a resposta seja negativa, o número de cartões é calculado segundo a equação 3.15.

$$\text{Kanbans Retirada} = \left(\frac{(IE(h) + TA(h) + St(h)) \times 60(\text{min/ } h)}{RC(\text{min/ peça})} \right) \div C \quad (3.15)$$

3.6.1 Exemplo Teórico de Aplicação – Kanbans de Retirada

Estas equações também foram inseridas em uma planilha de cálculos para facilitar sua manipulação. As tabelas 3.16 e 3.17 foram tiradas desta planilha. Nas células em branco são inseridos os dados enquanto que nas demais a informação é calculada automaticamente. A seguir será calculada a quantidade de kanbans de retirada para o exemplo teórico apresentado neste capítulo em duas situações: com a demanda nivelada e depois não nivelada.

Demanda Nivelada:

Calculando a quantidade de kanbans de retirada para o nosso exemplo teórico, teremos:

Tabela 3.16: Informações sobre o consumo das peças (exemplo)

Horas por turno	8
Turnos por dia	2
Dias por semana	5
Horas por semana	80
Tempo Útil (%)	90%
Horas disponíveis por semana	72
Ritmo de consumo do cliente (min/pc)	1,2706
Número de retiradas por semana	40
Retiradas niveladas no intervalo (S/N)?	S
Segurança para o Transporte (h)	1
Tempo para o Abastecimento (h)	0,5

Tabela 3.17: Informações de demanda e cálculo dos cartões (exemplo)

Produto	Demanda Semanal	Peças por embalagem	Número de kanbans de retirada
A	2000	20	5
B	1000	20	3
C	400	20	1
Σ	3400		

Observa-se que a quantidade de caixas para a peça C está inadequada. É necessário, para que este sistema funcione, que haja pelo menos duas caixas de cada peça, de modo que enquanto uma caixa está sendo consumida, a outra está sendo buscada ou produzida. Este problema pode ser sanado reduzindo-se a quantidade de peças por embalagem.

Estas quantidades de kanbans de retirada foram calculadas através da equação 3.13 por se tratar de uma demanda nivelada.

$$Kanbans\ Retirada = \frac{DP(peças)}{\sum DP(peças)} \times \left(\frac{(IE(h) + TA(h) + St(h)) \times 60(\text{min}/h)}{RC(\text{min}/peça)} \right) \div C \quad (3.13)$$

Inserindo os valores para a peça A:

$$Kanbans\ Retirada = \frac{2000}{3400} \times \left(\frac{(2 + 0,5 + 1) \times 60}{1,2706} \right) \div 20 \approx 5\text{embalagens}$$

Demanda não Nivelada:

Alterando na tabela 3.16 apenas o campo onde se pergunta se a retirada é nivelada ou não, tem-se o resultado mostrado na tabela 3.18.

Tabela 3.18: Informações de demanda e cálculo dos cartões (exemplo não nivelado)

Produto	Demanda Semanal	Peças por embalagem	Número de kanbans de retirada
A	2000	20	8
B	1000	20	8
C	400	20	8
Σ	3400		

Como se trata de uma demanda não nivelada, é necessário responder a seguinte pergunta: A demanda semanal do item é menor do que a quantidade de peças que o processo cliente pode consumir neste intervalo?

Para responder esta pergunta é necessário calcular a quantidade de peças que será consumida durante este intervalo de tempo. Isto é feito através da equação 3.16.

$$Consumo\ Retirada = \frac{(IE(h) + TA(h) + St(h)) \times 60(\text{min}/h)}{RC(\text{min}/peça)} \quad (3.16)$$

Inserindo os valores dados no exemplo:

$$\text{Consumo Retirada} = \frac{(2 + 0,5 + 1) \times 60}{1,2706} = 165 \text{ peças}$$

Comparando-se este valor com as demandas semanais dos três itens percebe-se que a resposta para esta pergunta é negativa para todos eles. Logo, foi usada a equação 3.15 para determinar o número de cartões de retirada.

$$\text{Kanbans Retirada} = \left(\frac{(IE(h) + TA(h) + St(h)) \times 60(\text{min/ h})}{RC(\text{min/ peça})} \right) \div C \quad (3.15)$$

Inserindo os valores do modelo A na equação 3.15, tem-se:

$$\text{Kanbans Retirada} = \left(\frac{(2 + 0,5 + 1) \times 60}{1,2706} \right) \div 20 \approx 8 \text{ embalagens}$$

3.7 Considerações Finais

Neste capítulo foi apresentado um método de cálculo do número de kanbans e da sua dinâmica de funcionamento. Este método procurou resolver algumas falhas da teoria que foram evidenciadas no Capítulo 2 desta dissertação.

Foram considerados fatores no dimensionamento que frustravam as tentativas das empresas de aplicarem a produção puxada com sucesso. A definição do significado das faixas, que representam os níveis dos supermercados, é fundamental para se fazer este dimensionamento. Na definição apresentada fica evidente que o tempo de preparação dos equipamentos e o tamanho dos lotes precisam estar presentes nas equações, ao contrário do que se encontra na literatura técnica.

Além disso, a distribuição dos cartões nestas faixas permite que o controle da produção se torne bastante simples, e, assim, possa ser transferido para o chão-de-fábrica sem prejuízos. Esta transferência de responsabilidade, apesar de ser um dos mais importantes benefícios da produção

puxada, nunca recebeu muita atenção nos trabalhos sobre dimensionamento de kanbans. Por esta razão, também, a aplicação da produção puxada acaba sendo menos utilizada do que poderia.

Ficou claro, porém, que existem limites para a aplicação da produção puxada com o uso de kanbans. Quando a demanda não pode ser prevista com alguma certeza, ou quando as entregas são pouco frequentes, os níveis de estoque não podem ser reduzidos e o controle da produção deve ser adaptado.

Capítulo 4

Montagem dos Quadros de Nivelamento da Produção

No Capítulo 2 foram evidenciadas algumas dificuldades na montagem dos quadros de nivelamento da produção. O capítulo anterior resolveu uma destas dificuldades ao apresentar uma maneira de calcular a quantidade de kanbans e, portanto, de dimensionar a parte inferior do quadro, a situação do estoque.

A outra dificuldade mencionada se referia ao controle do ritmo de produção em situações em que o *pitch*, isto é, o tempo de encher uma embalagem de peças, varia de produto para produto de uma mesma linha. Em casos assim a montagem da ordem de produção fica bastante dificultada. Apesar destas situações serem comuns, não foi encontrada uma maneira de lidar com elas na literatura técnica pesquisada.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram encontradas várias situações deste tipo. Em ambientes de montagem é fundamental se manter o ritmo de produção. Quando se produz abaixo do ritmo o cliente não é atendido, quando se produz mais depressa se faz excesso de produção. Este capítulo apresenta um método de montagem da régua de produção genérico que funciona para os casos mais simples e estes mais complexos.

4.1 Modelo da Régua de Produção

Num ambiente de produção puxada o ritmo de produção da última etapa do processo impacta toda a cadeia produtiva. No Capítulo 3 foi apresentado um método de dimensionamento dos supermercados. Um dos fatores considerados para este cálculo foi o ritmo de consumo de peças deste supermercado.

Se o processo cliente pára de produzir por uma hora em razão de uma quebra, o processo fornecedor continua a produzir até que todos os produtos estejam dentro da faixa verde, então ele pode parar. Quando o processo cliente volta a produzir, a tendência natural é a de aumentar o ritmo de consumo para recuperar o tempo perdido. Porém, o supermercado do processo fornecedor não foi dimensionado para suportar este ritmo acelerado de consumo. Para que não ocorra falta de peças no supermercado o processo fornecedor será obrigado a aumentar o seu ritmo de produção. Supondo que este processo fornecedor também tenha um fornecedor, e que eles também estejam conectados via kanban. A situação se propaga por toda a cadeia.

Por esta razão, o ritmo de produção é tão importante para uma empresa que aplica a produção puxada. No caso acima, a parada do processo cliente deveria ter sido prevista no momento de dimensionar a faixa vermelha, ou seja, o seu estoque de segurança. Para evitar esta variação de ritmo que é prejudicial para toda a cadeia, deve-se procurar minimizar os tempos de parada ao máximo, para que o ritmo de consumo se mantenha constante.

A variação do ritmo de produção é mais forte em ambientes de montagem. Os operadores têm uma velocidade de trabalho limitada pela sua habilidade e treinamento. Por esta razão o ritmo de produção pode variar ao longo do dia dentro de uma faixa larga de tempo. Nestes casos, os quadros de nivelamento são recomendados por serem ferramentas muito baratas e muito eficazes para ditar o ritmo de montagem para os operadores.

Para o desenvolvimento da ordem de produção devem-se considerar dois fatores principalmente: o tempo de ciclo das peças, que é o intervalo entre a saída de duas peças do processo, e a quantidade de peças por embalagem. A combinação entre estes dois fatores pode criar as seguintes situações:

- O tempo de ciclo de cada item é igual e as embalagens têm a mesma capacidade;
- O tempo de ciclo de cada item é igual, mas embalagens têm diferentes capacidades;
- O tempo de ciclo é diferente entre os itens e as embalagens têm a mesma capacidade;
- O tempo de ciclo e as capacidades das embalagens são diferentes entre os modelos.

O modelo de quadro de nivelamento apresentado no Capítulo 2 é o mais usado atualmente. Este modelo tradicional, porém, só se aplica para o primeiro caso. Para os demais casos será apresentado um novo modelo de quadro. A seguir, serão apresentados e comparados os dois.

4.1.1 Modelo de Régua Tradicional

Este modelo funciona bem quando os tempos de ciclo e a capacidade das embalagens são iguais. Para montar a régua, nesta situação, basta conhecer o tempo *takt*, multiplicá-lo pela quantidade de peças por caixa, que teremos o *pitch*. A cada intervalo destes de tempo, uma caixa deve ser fabricada. Para exemplificar a aplicação deste modelo foi criada a situação cujos dados se encontram nas tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1: Informações sobre a linha (quadro tradicional)

Horário de início do turno	8:00
Horário de término do turno	17:00
Tempo <i>takt</i>	1 minuto/peça
Peças por embalagem (todos os modelos)	30 peças
<i>Pitch</i>	30 minutos/embalagem

Tabela 4.2: Informações de parada da linha (quadro tradicional)

Parada da linha	Início	Término
Café	10:00	10:30
Almoço	12:00	13:00
Preparação 1	9:00	9:30
Preparação 2	13:00	13:30

A régua ficaria conforme mostra a figura 4.1. Os horários na régua de tempo têm uma diferença de 30 minutos entre si. Os horários de parada foram excluídos do quadro.

/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
A	A	A	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C
08:00	08:30	09:00	10:30	11:00	11:30	12:00	13:00	13:30	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30

Figura 4.1: Régua de tempo tradicional.

No caso de mudança na demanda estes horários devem ser alterados. Isto porque uma alteração de demanda implicaria num tempo *takt* diferente e conseqüentemente em um valor para o *pitch* diferente também. Além disto, caso forem mudados os instantes de realização das preparações, os horários sob a régua devem ser mudados.

Supondo que se queira produzir uma embalagem do produto “A” a mais e uma de “C” a menos. Isto seria feito alterando-se o horário da primeira preparação das 9:00 hs para as 9:30 hs e o da segunda passaria das 13:00 hs para as 13:30 hs. A régua ficaria conforme mostra a figura 4.2.

/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C
08:00	08:30	09:00	09:30	11:00	11:30	12:00	13:00	13:30	14:00	15:00	15:30	16:00	16:30

Figura 4.2: Régua de tempo tradicional com lotes de produção alterados.

Neste exemplo, todos os horários são múltiplos de 30 minutos, o que facilita bastante a mudança dos horários. Na prática, sabe-se que nem sempre os números são tão convenientes.

Quando os tempos de processo ou o tamanho das embalagens são diferentes, o uso deste quadro demanda mais trabalho. Isto porque o *pitch* é diferente de modelo para modelo. A única maneira de usar este quadro é fixando os horários em que as preparações ocorrerão. Em injetoras, por exemplo, é comum fixar os horários das trocas de moldes. Fixando o tipo de peça que se produzirá a cada intervalo, pode-se usar um quadro destes com sucesso.

A figura 4.3 mostra uma situação destas quando o tempo para processar a peça A é de 30 minutos, o da peça B é de 10 minutos e o da peça C é de 60 minutos. Os horários de início e término do almoço e café permanecem os mesmos da tabela 4.2. Serão feitas duas preparações de 30 minutos, uma às 9:30, antes do café. A outra será feita às 11:30, antes do almoço.

/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
A	A	A	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C
08:00	08:30	09:00	10:30	10:40	10:50	11:00	11:10	11:20	13:00	14:00	15:00	16:00

Figura 4.3: Régua de tempo tradicional com tempos de ciclo diferentes.

Exemplo prático de aplicação da régua tradicional:

O primeiro caso de aplicação de produção puxada, encontrado durante o desenvolvimento deste trabalho, ocorreu dentro da Visteon Sistemas Automotivos. Tratava-se de uma linha que entregava para a Ford 512 caixas de ar diariamente. Este produto faz parte do sistema de ventilação dos veículos. Os seis modelos produzidos pela linha eram praticamente iguais. Não havia tempo de preparação entre os modelos. As embalagens tinham capacidade para 8 peças cada. A linha trabalhava 9 horas por dia. Descontando-se os tempos de almoço e outras paradas, sobravam 512 minutos por dia para produzir. Calculando-se o tempo *takt* e o *pitch* de produção através das equações 2.6 e 2.8 respectivamente:

$$\text{TempoTakt} = \frac{TDP(s)}{DMP(\text{peças})} = \frac{512 \times 60}{512} = \frac{60s}{\text{peça}} = 1 \text{ min/ peça}$$

$$\text{Pitch} = \text{TempoTakt} \left(\frac{s}{\text{peças}} \right) \times C(\text{peças}) = 60 \times 8 = 480s / \text{embalagem} = 8 \text{ minutos} / \text{embalagem}$$

A produção de 512 peças diárias equivalia a 64 caixas. Colocar 64 cartões lado a lado sobre a ordem de produção exigiria um quadro muito largo. Se o cartão tivesse 5 centímetros de largura seria necessária uma régua de 3,2 metros. A solução adotada para se usar o quadro que a empresa dispunha foi colocar dois cartões por posição, isto é, um sobre o outro. Neste caso, o *pitch* foi dobrado, isto é, em 16 minutos a linha tinha de produzir 2 caixas de cada modelo.

Esta linha começava a trabalhar às 5:20 da manhã. Somando-se este horário ao *pitch* de dois cartões, que era de 16 minutos, marcou-se o segundo horário sob a régua, 5:36. Os horários foram colocados deste modo, descontando-se os tempos de parada. Os horários são escritos a mão e alterados toda vez que muda a demanda, e conseqüentemente o *pitch* de produção.

A figura 4.4 mostra o quadro inteiro. A figura 4.5 mostra o detalhe da régua de produção, com os horários escritos a mão.

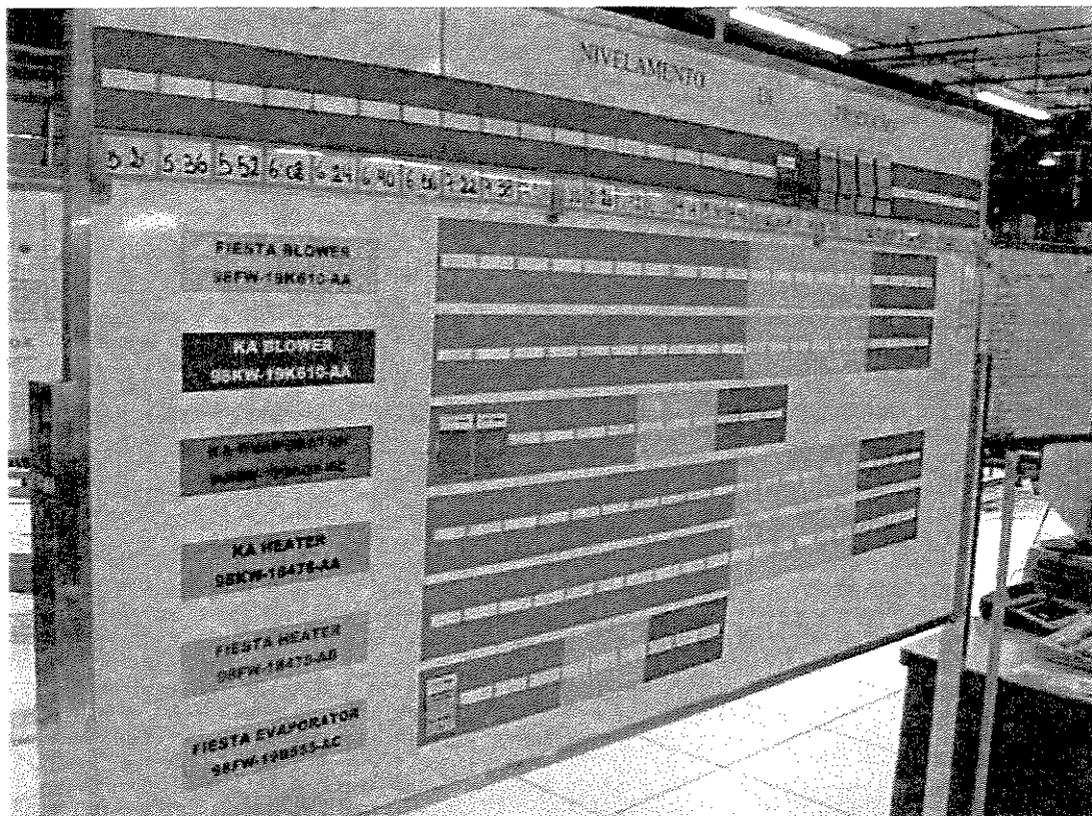


Figura 4.4: Quadro de nivelamento tradicional – caso prático.

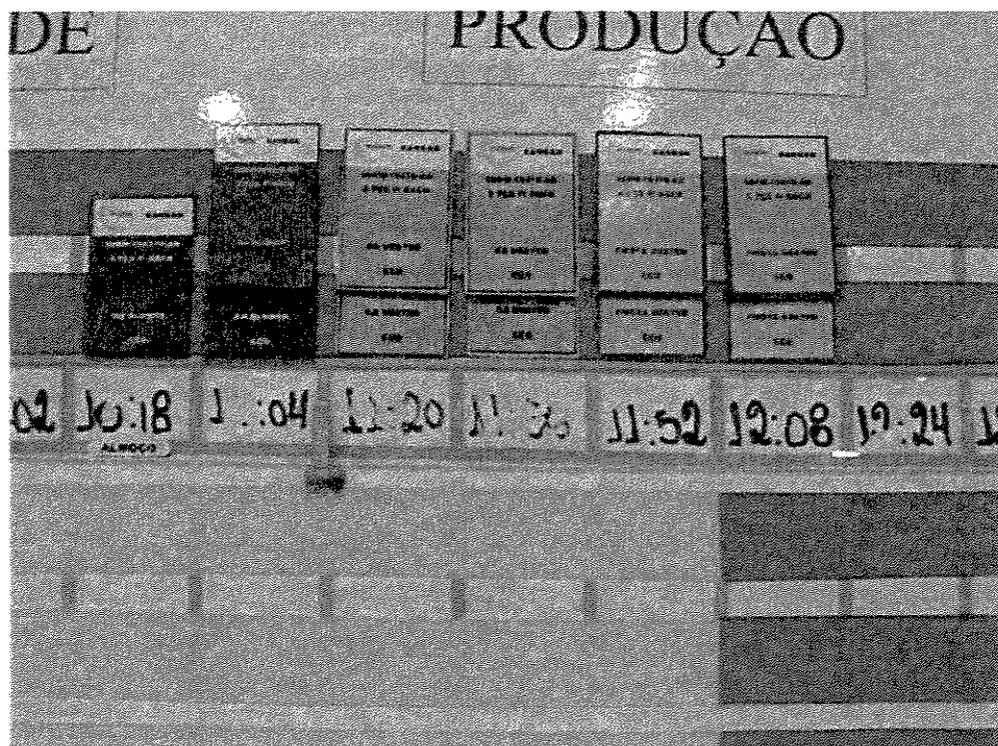


Figura 4.5: Detalhe da régua de produção tradicional – caso prático.

Em situações em que os tempos de processo são diferentes, as embalagens têm diferentes capacidades e os horários em que serão feitas as preparações da linha não são conhecidos, é necessário um outro tipo de régua de produção.

4.1.2 Modelo de Régua Proposto

O modelo imaginado deveria permitir que a sequência de produção pudesse ser qualquer uma que os operadores manteriam o ritmo de produção. Em outras palavras, ao contrário do quadro tradicional, em que qualquer alteração na sequência de produção exige que os horários sob a régua sejam recalculados, o objetivo buscado era de montar uma régua que não precisasse disto. Independentemente da sequência de produção, os operadores da linha saberiam quando iniciar e terminar a produção de uma caixa.

Foi, então, proposto que a largura do cartão deveria indicar o seu tempo de processo. Na figura 4.6 observamos que uma caixa de A leva o dobro de tempo para ser produzida do que uma de B.

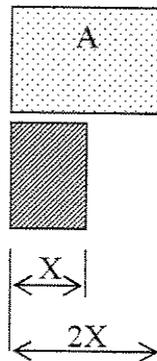


Figura 4.6: Largura do cartão proporcional ao tempo de produção de cada caixa.

Conhecendo a demanda do dia e a relação entre os tempos de fabricação dos diversos modelos, pode-se começar a dimensionar a régua. Como exemplo, considere a tabela 4.3 usando as larguras dos cartões tiradas da figura 4.6. A demanda diária de cada item foi inserida na tabela e multiplicando-a pela largura do cartão pode-se começar o dimensionamento da régua.

Tabela 4.3: Demanda e comprimento da régua

Produto	Largura do cartão	Demanda diária (caixas)	Largura na régua
A	2X	4	8X
B	X	4	4X

Logo, o comprimento da régua deve ser grande o suficiente para acomodar a somatória das larguras dos cartões necessários. No caso acima, ela deve ter pelo menos 12X de largura. A sequência não altera esta dimensão (Figura 4.7).

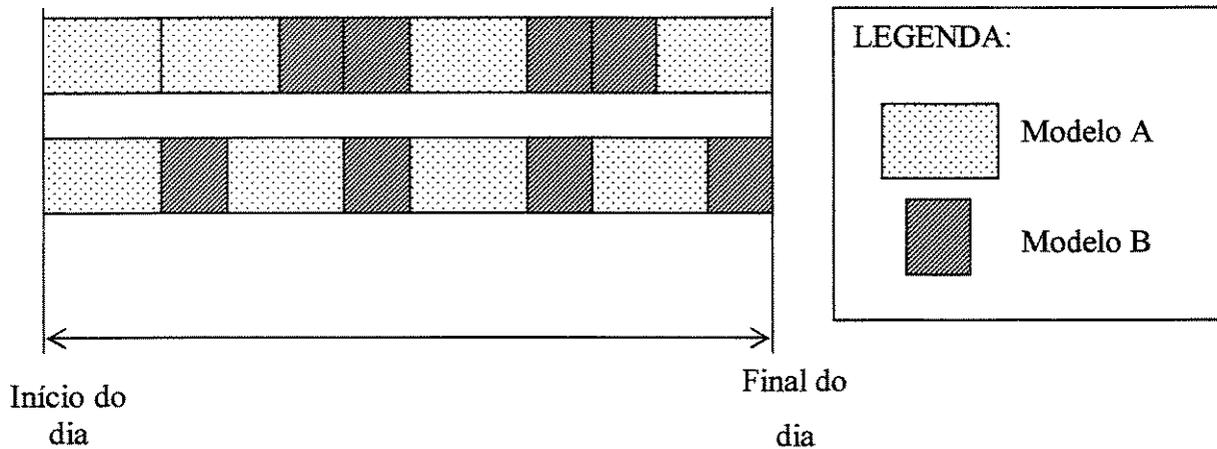


Figura 4.7 A sequência de produção não altera o tamanho da régua.

A régua de tempo deve aumentar ou diminuir conforme a produção aumente ou diminua, de modo a caberem mais ou menos cartões sobre ela. Fica claro, agora, que se a demanda de A e de B cair de 4, para 2 caixas por dia, a régua só precisará acomodar metade dos cartões e por isto pode ser diminuída.

Uma vez que o tempo está relacionado com a largura dos cartões, os tempos de almoço, café, reuniões e preparações de equipamentos, podem ser representados através de cartões com larguras proporcionais a estes tempos. Estes cartões devem entrar na régua e contribuem para aumentar sua largura.

Uma vantagem de se colocar estes cartões de paradas nos quadros é o ganho de flexibilidade que isto proporciona. Linhas de montagem que trabalham próximas de seus clientes e não sabem quando precisarão fazer as trocas de ferramentas podem usar este quadro e preenchê-lo no decorrer do dia. Pode-se mudar o tamanho dos lotes conforme a necessidade do cliente, pode-se programar manutenção e limpeza da linha para quando os níveis de supermercados estiverem altos, sem que se perca o ritmo de montagem. A figura 4.8 mostra como ficaria uma régua destas.

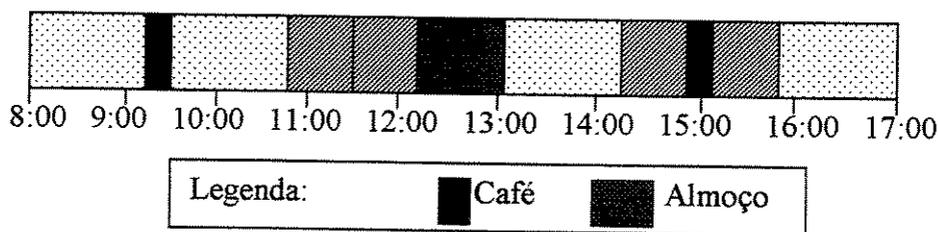


Figura 4.8: Modelo de ordem de produção com horários.

Observando a figura 4.8, pode-se dizer que a linha parará por volta de 9:20 para tomar café, almoçará depois do meio-dia e parará novamente às 10 para as 15:00 horas para mais um café. Fica muito fácil de ver a que horas a linha deve terminar de fazer cada caixa. Fica fácil colocar a linha no ritmo correto.

O método de montagem desta régua está descrito detalhadamente no item 4.2.

4.2 Método para o Dimensionamento da Régua de Produção

Este método foi desenvolvido para resolver um problema que afligia a linha de bobinas da Visteon, apresentado no Capítulo 3. A produção desta linha era programada através de um quadro de kanbans. Em certos dias, quando os operadores chegavam para trabalhar pela manhã, encontravam o quadro com os cartões sobre as faixas verdes. Portanto, não havia a necessidade imediata de produzir nenhum item. Neste momento os operadores podiam relaxar. Alguns deles iam tomar café, outros iam ao banco. Ao final do dia a situação nem de longe lembrava aquela encontrada pela manhã. Os operadores produziam a todo vapor, não tinham tempo para olhar para o lado. É importante deixar claro que os clientes produziam no mesmo ritmo o dia todo.

O que estava acontecendo então? Quando se perguntava para um operador qual era a capacidade da linha para produzir, nenhum deles sabia dizer. Eles realmente não poderiam dizer ao certo. Os tempos de ciclo das peças eram bastante diferentes. Produzir uma caixa de 50 peças de um modelo poderia demorar a metade do tempo de produzir uma caixa de 50 peças de outro. Em certos dias, os clientes pediam grandes quantidades daquelas peças que tinham tempo de ciclo maior.

O problema identificado estava nos kanbans que a linha estava utilizando. Estes não traziam impresso o seu “grau de dificuldade” de montagem. Dois cartões de 50 peças pareciam exatamente iguais. A solução encontrada não foi tão simples como escrever, em cada cartão, o seu tempo de gargalo, que poderia ter sido uma solução. Entretanto, como a linha não precisava produzir no tempo de gargalo o dia todo, aquele número só lhe serviria para informar que um modelo demoraria mais tempo para ser produzido do que um outro. A linha precisava saber qual o tempo em que deveria produzir cada embalagem de cada modelo para atender a demanda.

Depois de uma série de tentativas e estudos, surgiu o método que será apresentado a seguir. Para explicá-lo será usado o exemplo teórico apresentado no final do Capítulo 3. Depois serão apresentados dois casos práticos. O primeiro é o da linha de bobinas, o segundo é um caso mais simples, também da Visteon, para demonstrar que o método resolve casos menos complexos também.

4.2.1 Exemplo Teórico de Aplicação

Uma vez que já foram calculadas as quantidades de kanbans de produção de cada item no Capítulo 3, basta dimensionar a régua de produção que o quadro estará pronto para operar. O primeiro passo, então, é determinar a largura de cada cartão. Para isto são coletadas as informações pedidas pela tabela 4.4.

Tabela 4.4: Informações sobre a linha

Tempo total por dia (h)	17,8
Tempo total por turno (h)	8,9
tempo de produção por dia (min)	744
tempo de produção por turno (min)	372
tempo fazendo preparações por dia	120
tempo de almoço (min)	30
tempo de café (min)	10
tempo de reunião (min)	5

Na tabela 4.4, o tempo total por dia é o número de horas que as pessoas estão sendo pagas por dia nesta fábrica. Conforme o enunciado do exemplo, no Capítulo 3, esta linha trabalha dois turnos de 8,9 horas. O tempo de produção por dia se refere ao número de minutos por dia para produzir, descontadas as paradas programadas e não programadas além dos tempos de preparação dos equipamentos por dia. O tempo de produção por turno é calculado de maneira análoga. O tempo de preparação é calculado dividindo-se o tempo total fazendo preparações, que se encontra na tabela 3.4, pelo número de dias da semana.

A tabela 4.5 calcula o tempo mínimo em que se pode produzir uma caixa de cada um dos produtos. Este cálculo é feito através da multiplicação do tempo de gargalo pela quantidade de peças por embalagem.

Tabela 4.5: Informações sobre os modelos

Produto	tempo do gargalo (min)	peças por caixa	tempo mínimo por caixa
A	1,0	20	20,00
B	1,2	20	23,33
C	1,3	20	26,67

Na tabela 4.6, estes tempos mínimos são normalizados para se obter uma clara relação entre eles. Neste caso, os três valores foram divididos pelo tempo mínimo de produção da embalagem do produto A, que é o produto de maior demanda. Em seguida, multiplicou-se cada valor obtido por seis e o resultado foi arredondado. Este número final foi denominado o número de pontos de cada embalagem.

Tabela 4.6: Calculando a quantidade de pontos por caixa

Produto	Tempo mínimo por caixa (min)	Normalizando		Pontos por caixa de cada modelo
		Dividindo pelo tempo mínimo do modelo que tem a maior demanda	Multiplicando por 6	
A	20,00	1,00	6,0	6
B	23,33	1,17	7,0	7
C	26,67	1,33	8,0	8

Ao se criar este sistema de pontos, torna-se fácil determinar se a linha é capaz de cumprir uma programação de produção. A equação 4.1 é apresentada para calcular o número máximo de pontos que uma linha pode produzir num dia.

$$GargaloDia(pontos) = \frac{PC \times TP(\min)}{TMC(\min)} \quad (4.1)$$

Onde:

PC = Quantidade de pontos por caixa de qualquer modelo;

TP = Tempo de produção por dia, descontando-se todas as paradas e os tempos de preparação;

TMC = Tempo para produzir a caixa trabalhando no tempo mínimo possível por peça.

Inserindo os valores do produto A na equação 4.1 tem-se:

$$GargaloDia(pontos) = \frac{6 \times 744}{20,00} = 223 \text{ pontos / dia}$$

Assim, para saber se um programa de produção pode ser cumprido ou não, basta transformar a demanda de embalagens de cada produto em pontos e somá-los. Caso a somatória fique abaixo dos 223 pontos, é possível atender o cliente com estes dois turnos de trabalho.

Caso a linha queira aumentar sua capacidade de produzir, ela deve diminuir o tempo de gargalo por peça, de modo que se diminuam as quantidades de pontos por produto, e desta forma possam ser feitas mais peças num mesmo dia. Existem alternativas para se aumentar a capacidade de produção, algumas delas são: abrir mais um turno, trabalhar em hora-extra, diminuir o tempo fazendo preparações, diminuir o tempo de cada preparação ou diminuir o número de paradas não programadas.

Depois de conhecido o gargalo em número de pontos, e o número de pontos de cada produto, o próximo passo foi tornar esta informação útil para o operador. O modo de mostrar que existem modelos que levam mais tempo para serem produzidos do que outros foi amarrar as quantidades de pontos à largura do cartão. Para isto criou-se a seguinte razão:

$$\text{razão} = \frac{6 \text{ pontos}}{6 \text{ cm}} = 1 \text{ ponto} / \text{cm}$$

A partir desta relação pode-se determinar a largura de cada cartão. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 4.7.

Tabela 4.7: Largura dos cartões

Produto	Tamanho do cartão (cm)
A	6
B	7
C	8

A tabela 4.8 transforma a demanda diária de peças de cada produto em pontos. Isto é feito multiplicando-se a demanda diária de cada produto em termos de caixas, pelo número de pontos por caixa.

Tabela 4.8: Dados de demanda em peças e em pontos

Produto	Demanda diária (peças)	Demanda diária (caixas)	Pontos de produção por dia
A	400	20.0	120.0
B	200	10.0	70.0
C	80	4.0	32.0
			222

Como este número é menor do que o gargalo de produção do dia, pode-se atender a este mix de produtos fazendo a quantidade de preparações desejadas. Em cada um dos dois turnos de trabalho serão produzidos 111 pontos.

Em seguida são calculados os números de pontos correspondentes ao almoço, café, reuniões, etc. Em seguida estes pontos serão transformados em larguras de cartões. Isto será feito resolvendo os seguintes sistemas:

- Pontos de almoço:

$$\frac{111 \text{ pontos}}{372 \text{ min utos}} = \frac{\text{PontosAlmoço}}{30 \text{ min utos}} \therefore \text{PontosAlmoço} = \frac{111 \text{ pontos}}{372 \text{ min utos}} \times 30 \text{ min utos} = 9 \text{ pontos}$$

$$\frac{1 \text{ ponto}}{1 \text{ cm}} = \frac{9 \text{ pontos}}{\text{LarguraAlmoço}} \therefore \text{LarguraAlmoço} = 9 \text{ cm}$$

- Pontos de café:

$$\frac{111 \text{ pontos}}{372 \text{ min utos}} = \frac{\text{PontosCafé}}{10 \text{ min utos}} \therefore \text{PontosCafé} = \frac{111 \text{ pontos}}{372 \text{ min utos}} \times 10 \text{ min utos} = 3 \text{ pontos}$$

$$\frac{1 \text{ ponto}}{1 \text{ cm}} = \frac{3 \text{ pontos}}{\text{LarguraCafé}} \therefore \text{LarguraCafé} = 3 \text{ cm}$$

- Pontos de reunião:

$$\frac{111 \text{ pontos}}{372 \text{ min utos}} = \frac{\text{Pontos Reunião}}{5 \text{ min utos}} \therefore \text{Pontos Reunião} = \frac{111 \text{ pontos}}{372 \text{ min utos}} \times 5 \text{ min utos} = 1,5 \text{ pontos}$$

$$\frac{1 \text{ ponto}}{1 \text{ cm}} = \frac{1,5 \text{ pontos}}{\text{Largura Reunião}} \therefore \text{Largura Reunião} = 1,5 \text{ cm}$$

Observando as equações acima fica fácil perceber que quando se aumentarem ou diminuïrem os pontos relativos à produção ou os minutos disponíveis para produzir, os cartões de paradas devem ser redimensionados. Obviamente variações na demanda que não provoquem alterações de mais de 15% nas dimensões dos cartões não exigem que eles sejam reformados.

Os cartões de preparação de equipamentos também são calculados de maneira análoga. Como o tempo de trocas é igual para os três modelos, o cálculo do tamanho do cartão só será feito uma vez.

$$\frac{111 \text{ pontos}}{372 \text{ min utos}} = \frac{\text{Pontos Troca}}{10 \text{ min utos}} \therefore \text{Pontos Troca} = \frac{111 \text{ pontos}}{372 \text{ min utos}} \times 10 \text{ min utos} = 3 \text{ pontos}$$

$$\frac{1 \text{ ponto}}{1 \text{ cm}} = \frac{3 \text{ pontos}}{\text{Largura Troca}} \therefore \text{Largura Troca} = 3 \text{ cm}$$

Por fim, resta-nos somente calcular o tamanho da régua de produção e fixar os horários de hora em hora. Como a linha trabalha dois turnos, serão feitas duas régua, uma para cada turno. A maneira de calcular o tamanho da régua é similar ao usado para calcular o tamanho dos cartões. Neste caso, o turno tem 8,9 horas, o que resulta em 535 minutos sem descontar nada. O cálculo da régua é feito assim:

$$\frac{111 \text{ pontos}}{372 \text{ min utos}} = \frac{\text{Régua}}{535 \text{ min utos}} \therefore \text{Régua} = \frac{111 \text{ pontos} \times 535 \text{ min utos}}{372 \text{ min utos}} = 160 \text{ pontos}$$

$$\text{razão} = \frac{1 \text{ ponto}}{\text{cm}} = \frac{160 \text{ pontos}}{\text{Régua}} \therefore \text{Largura Régua} = 160 \text{ cm}$$

Destes 160 centímetros, 111 centímetros são ocupados a cada turno pelos kanbans de produção dos produtos. Os cartões de preparação, refeições e as demais paradas também são colocados sobre a régua. A tabela 4.9 calcula a o espaço ocupado por estes cartões.

Tabela 4.9: Quantidade de cartões de parada por turno

Parada	Frequência por turno	Largura do cartão (cm)	Largura na régua (cm)
Almoço/Jantar	1	9	9
Café	2	3	6
Reunião	1	1,5	1,5
Preparação produto A	2	3	6
Preparação produto B	2	3	6
Preparação produto C	2	3	6
			34,5

A régua tem 34,5 centímetros ocupados pelos cartões de parada programada. Quando se soma o espaço que será ocupado pelos kanbans de produção ao espaço ocupado pelos cartões das paradas programadas, tem-se como resultado 145,5 centímetros. A régua, porém, tem 160 centímetros. Esta diferença de 14,5 centímetros entre a largura da régua e esta soma é o que se perde de produção por turno com as paradas não programadas.

Para encerrar o cálculo da régua de produção é necessário colocar os horários sob ela. Os 160 centímetros correspondem a todo o turno. A figura 4.9 mostra como deve ficar a régua de produção, com os horários de hora em hora.

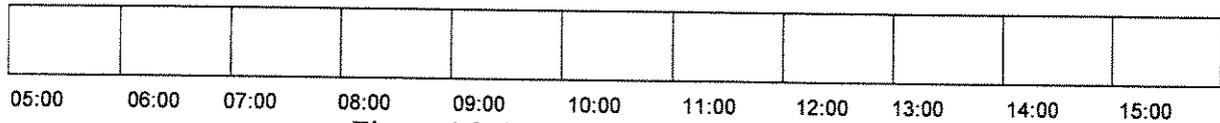


Figura 4.9: Horários sob a régua de produção

A distância entre as horas pode ser calculada usando o mesmo método usado anteriormente. O tempo de uma hora são 60 minutos, transformando este tempo em pontos e em seguida em centímetros resulta em uma distância de 18 centímetros.

Finalmente pode-se montar o quadro de nivelamento da produção para o exemplo teórico. A quantidade de cartões por faixa de cada modelo foi calculada. As dimensões dos cartões também foram calculadas. A régua de produção foi dimensionada. O procedimento de utilização do quadro está claro, isto é, os instantes de se iniciar e de se encerrar a produção de cada item são conhecidos. A figura 4.10 apresenta o leiaute do quadro e na figura 4.11 tem-se o quadro com os cartões nas cores finais (os cartões de almoço e café já estão posicionados sobre a régua).

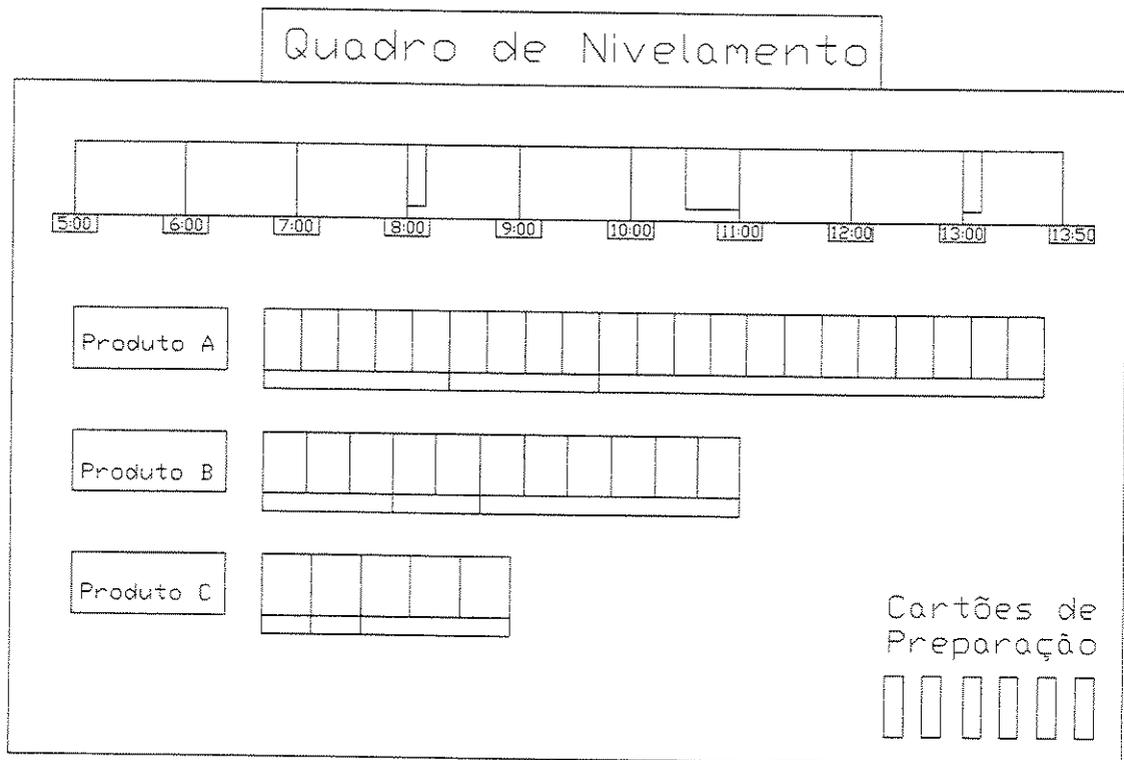


Figura 4.10: Leiaute do quadro de nivelamento do exemplo teórico.

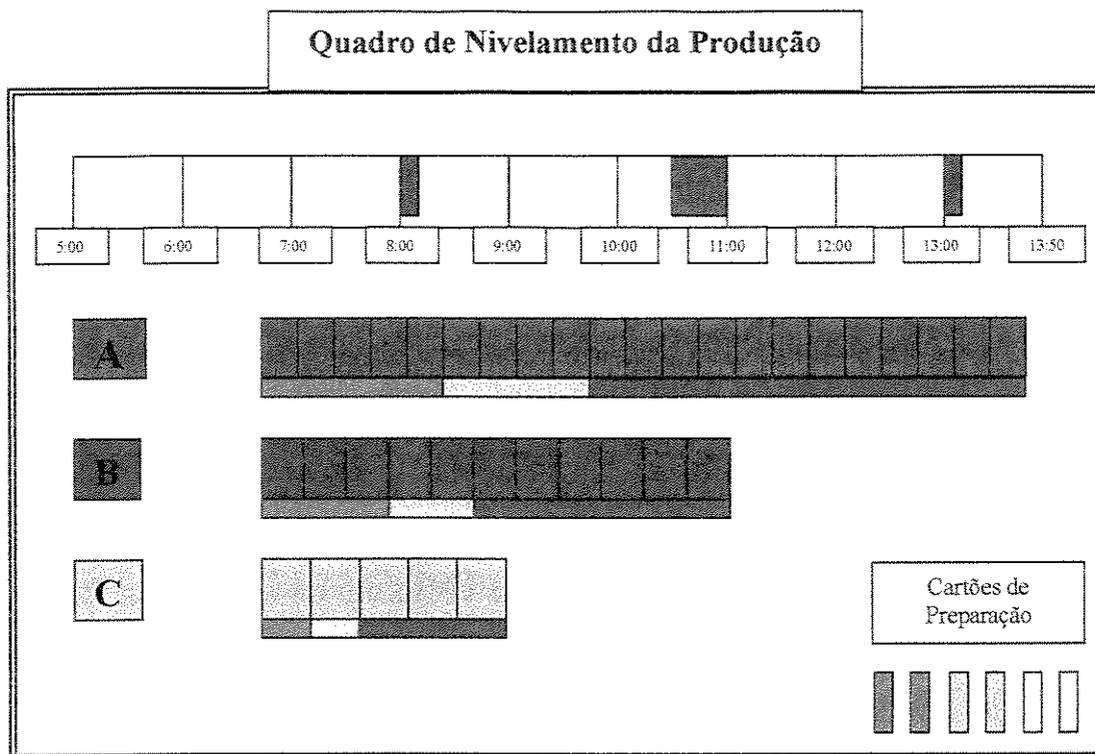


Figura 4.11: Esquema do quadro com os cartões nas cores definidas.

4.2.2 Exemplos Práticos de Aplicação

Bobinas:

Quanto ao exemplo da linha de bobinas apresentado no Capítulo 3, falta dimensionar a sua régua de produção. Esta foi a linha que motivou a criação do método de cálculo que está sendo apresentado. Este método não surgiu de repente. Ele foi uma evolução de um trabalho que começou com o caso da linha que produz caixas de ar para a Ford, apresentado no início deste capítulo. Depois deste quadro estar em funcionamento, conforme mostra a figura 4.4, surgiram situações um pouco mais complicadas, evoluindo da linha de Controle de Temperatura, que será descrito mais adiante até o caso de bobinas que será descrito agora.

Começa-se preenchendo a tabela 4.10 com as informações sobre a linha de bobinas.

Tabela 4.10: Informações sobre a linha de bobinas

Tempo total por dia (h)	8,9
Tempo total por turno (h)	8,9
tempo de produção por dia (min)	362,8
tempo de produção por turno (min)	362,8
tempo fazendo preparações por dia	98
tempo de almoço (min)	30
tempo de café (min)	10
tempo de reunião (min)	5

A próxima tabela calcula o tempo mínimo por caixa para criar a relação entre a largura dos cartões. O tempo mínimo por caixa é calculado multiplicando-se o tempo de gargalo de cada peça pela quantidade de peças por embalagem. Os resultados estão apresentados na tabela 4.11.

Tabela 4.11: Informações sobre os modelos da linha de bobinas

Produto	Tempo de ciclo por peça (min/peça)	Peças por embalagem	Tempo mínimo por caixa (min)
A	0,18	36	6,30
B	0,20	49	9,80
C	0,20	49	9,80
D	0,24	49	11,52
E	0,24	81	19,04
F	0,30	81	24,30
G	0,20	81	16,20

Depois de calculados os tempos mínimos, é hora de criar uma relação de produção mais óbvia entre os modelos. Para fazer isto, é feita a normalização dos tempos mínimos por caixa. Os resultados estão mostrados na tabela 4.12.

Tabela 4.12: Calculando a quantidade de pontos por caixa da linha de bobinas

Produto	Tempo mínimo por caixa (min)	Operações matemáticas		Pontos por caixa de cada modelo
		Dividindo pelo tempo mínimo do modelo que tem a maior demanda	Multiplicando por 30	
A	6,30	0,33	9,9	10
B	9,80	0,51	15,4	15
C	9,80	0,51	15,4	15
D	11,52	0,60	18,1	20
E	19,04	1,00	30,0	30
F	24,30	1,28	38,3	40
G	16,20	0,85	25,5	25

Está criado o sistema de pontos. Pode-se calcular o gargalo em pontos utilizando a equação 4.1. Os resultados estão na tabela 4.13.

Tabela 4.13: Gargalo da linha de bobinas

Produto	Gargalo por turno	Gargalo por dia
A	572	572
B	572	572
C	572	572
D	572	572
E	572	572
F	572	572
G	572	572

O próximo passo é definir a razão de pontos e centímetros. A razão escolhida foi:

$$razão = \frac{10 \text{ pontos}}{2 \text{ cm}} = 5 \text{ pontos/cm}$$

Agora, pode-se começar a calcular a largura dos cartões. Será mostrado apenas como foi calculada a largura do cartão do modelo A. O cálculo das dimensões dos demais cartões é análogo e as dimensões destes estão apresentadas na tabela 4.14.

$$razão = \frac{5 \text{ pontos}}{1 \text{ cm}} = \frac{10 \text{ pontos}}{LarguraA} \therefore LarguraA = \frac{10 \text{ pontos} \times 1 \text{ cm}}{5 \text{ pontos}} = 2 \text{ cm}$$

Tabela 4.14: Largura dos cartões de bobinas

Produto	Tamanho do cartão (cm)
A	2,0
B	3,0
C	3,0
D	4,0
E	6,0
F	8,0
G	5,0

O próximo passo é transformar a demanda em número de caixas em pontos. A tabela 4.15 mostra o total de pontos de produção por dia.

Tabela 4.15: Dados de demanda em peças e em pontos para bobinas

Produto	Demanda diária (peças)	Demanda diária (caixas)	Pontos de produção por dia
A	180	5,0	50,0
B	174	3,6	53,3
C	144	2,9	44,1
D	150	3,1	61,2
E	250	3,1	92,6
F	240	3,0	118,5
G	480	5,9	148,1
			568

Como este número é menor do que a pontuação máxima, este *mix* de produção é factível dentro de um turno. O cálculo das dimensões dos demais cartões é análogo ao apresentado no exemplo teórico. Abaixo está o método de cálculo do cartão de almoço.

$$\frac{362,8 \text{ min utos}}{568 \text{ pontos}} = \frac{30 \text{ min utos}}{\text{LarguraAlmoço}} \therefore \text{LarguraAlmoço} = \frac{30 \times 568}{362,8} = 47 \text{ pontos}$$

$$\text{razão} = \frac{5 \text{ pontos}}{\text{cm}} = \frac{47 \text{ pontos}}{\text{LarguraAlmoço}} \therefore \text{LarguraAlmoço} = 9,5 \text{ cm}$$

As dimensões calculadas estão apresentadas na tabela 4.16, bem como o espaço que eles ocuparão sobre a régua de produção.

Tabela 4.16: Quantidade de cartões de parada por turno para bobinas

Parada	Frequência por turno	Pontos por cartão	Largura do cartão (cm)	Largura na régua (cm)
Almoço/Jantar	1	47	9,5	9,5
Café	2	16	3	6
Reunião	1	8	1,5	1,5
Preparação produto A	1	16	3	3
Preparação produto B	1	16	3	3
Preparação produto C	1	16	3	3
Preparação produto D	2	16	3	6
Preparação produto E	1,6	16	3	4,8
Preparação produto F	1,6	16	3	4,8
Preparação produto G	1,6	16	3	4,8
				46,4

Assim, além dos 568 pontos de produção, que ocuparão 113,6 centímetros da régua, ainda serão colocados mais 46,4 centímetros de cartões relativos às paradas programadas. Como o tempo total de horas por turno é de 8,9 horas, isto é, 535 minutos, pode-se calcular o tamanho da régua da seguinte forma:

$$\frac{568 \text{ pontos}}{362,8 \text{ min utos}} = \frac{\text{Régua}}{535 \text{ min utos}} \therefore \text{Régua} = \frac{568 \text{ pontos} \times 535 \text{ min utos}}{362,8 \text{ min utos}} = 837 \text{ pontos}$$

$$\text{razão} = \frac{5 \text{ pontos}}{\text{cm}} = \frac{837 \text{ pontos}}{\text{Régua}} \therefore \text{Régua} = 167 \text{ cm}$$

Existe uma diferença de 7 centímetros entre o tamanho da régua e o espaço ocupado pelos cartões de produção somado ao espaço ocupado pelas paradas programadas. Este espaço é relativo às paradas não programadas.

A figura 4.12 mostra como ficou o quadro na linha.

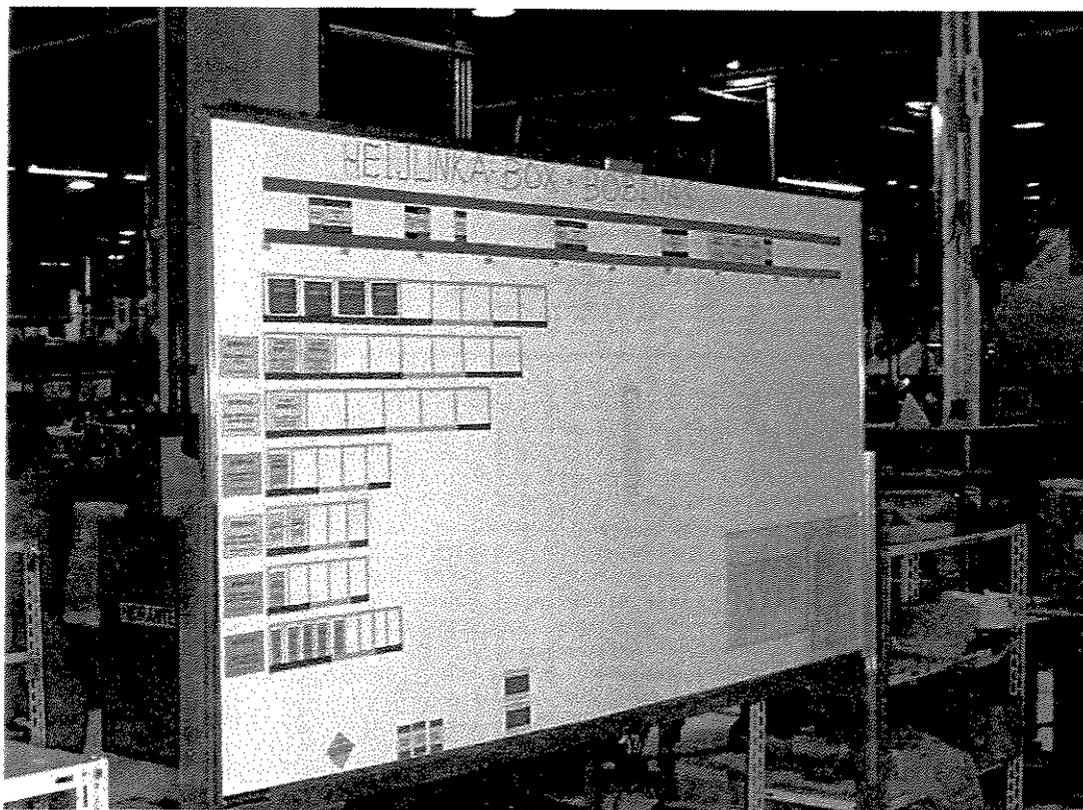


Figura 4.12: Quadro de nivelamento da produção da linha de bobinas.

A figura 4.13 mostra o detalhe da diferença de tamanho dos cartões.



Figura 4.13: Cartões de tamanho diferentes.

A figura 4.14 mostra a régua de produção em detalhe.

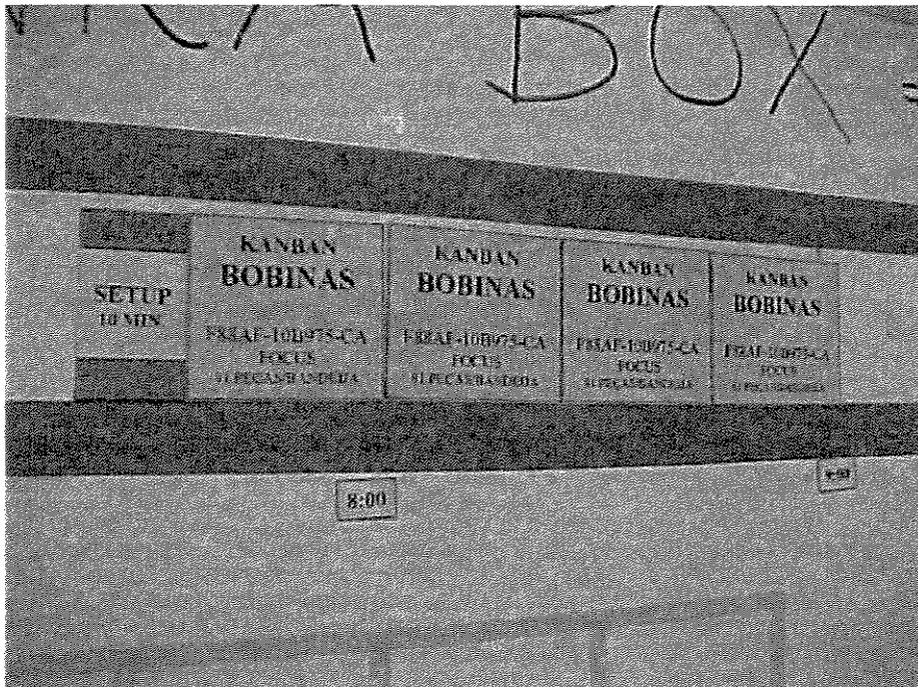


Figura 4.14: Detalhe da régua de produção com os horários.

Controle de Temperatura:

A situação encontrada nesta linha era a seguinte: as peças tinham o mesmo tempo de ciclo, porém as embalagens tinham capacidades diferentes. A demanda diária era de 680 peças. Eram produzidos dois modelos que eram entregues a cada 2 horas para o cliente interno à fábrica. Só havia dois tipos de embalagens: para 24 ou para 16 peças. O tempo de ciclo era de 27 segundos para qualquer peça. A linha só operava um turno por dia.

O quadro de nivelamento de produção foi montado nesta linha antes do desenvolvimento do método apresentado neste trabalho. Tão logo este foi desenvolvido, ele foi aplicado a esta linha para ser validado. Nas figuras a seguir, observa-se como ficou o quadro na linha.

Na figura 4.15 observa-se o quadro com os diferentes tamanhos de cartões e o supermercado de peças nas caixas atrás dele.

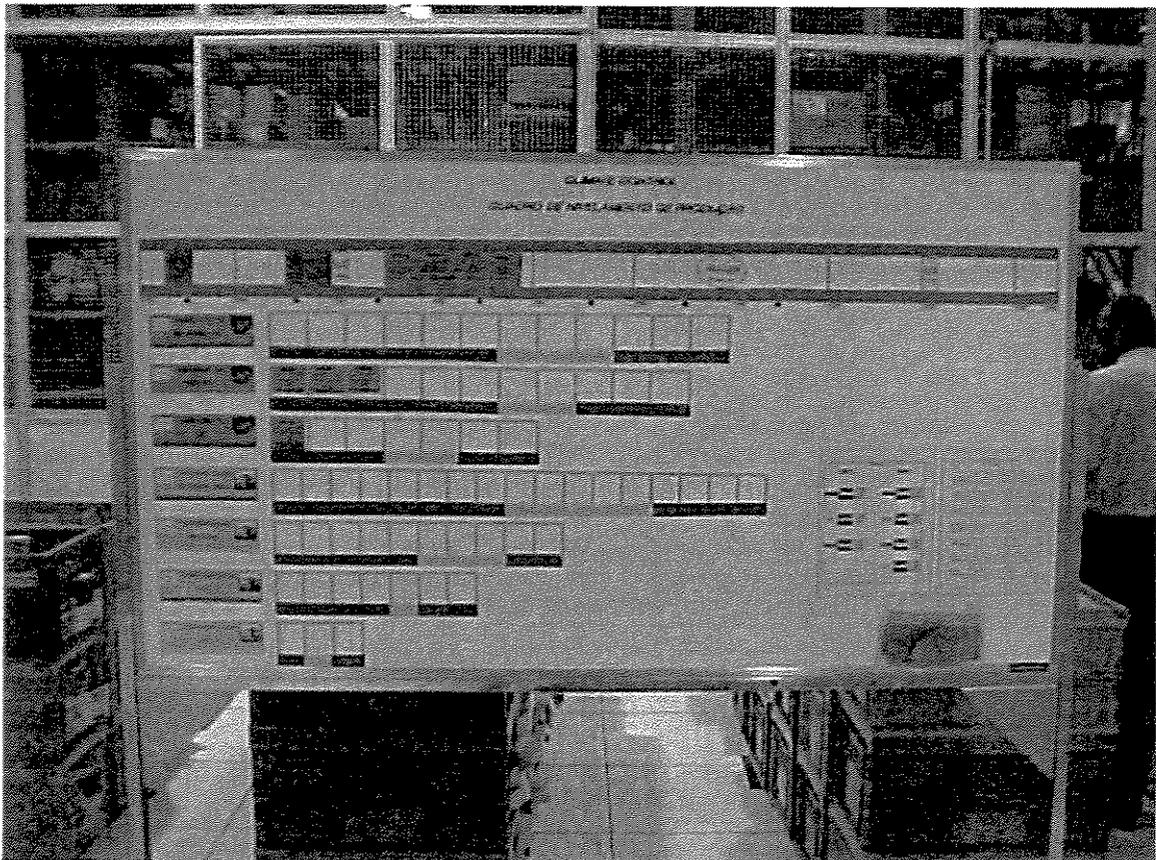


Figura 4.15: Quadro da linha de controle de temperatura com o supermercado.

Na figura 4.16 observa-se a régua de produção em detalhe. Nela podem-se ver os cartões e os horários sob a régua de produção.

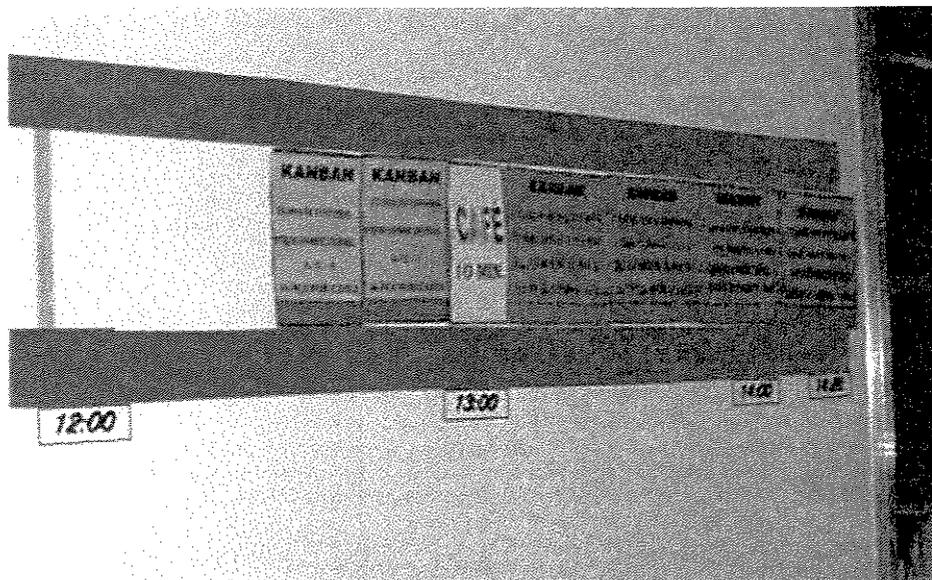


Figura 4.16: Detalhe da régua de produção do controle de temperatura.

4.3 Considerações Finais

Este capítulo complementou o Capítulo 3 deste trabalho. Foi apresentado um método para criação de quadros de nivelamento que viabilizam a produção puxada e que auxiliam os operadores a manterem o ritmo produtivo. Só se encontrava na teoria um modelo deste quadro que só se aplicava para um caso especial.

O método apresentado pode ser aplicado a uma variedade maior de situações. Mesmo em ambientes com tempos automáticos, como em injetoras de plástico, é necessário saber a que horas vão ocorrer as trocas de moldes. Este quadro apresentado facilita o trabalho de gerenciamento destas trocas.

As equações utilizadas são bastante simples. Elas podem ser inseridas em planilhas de cálculo e passadas para os próprios operadores gerenciarem o quadro. À medida que se alteram os volumes, as informações são lançadas nos espaços corretos e as alterações necessárias no

quadro são geradas imediatamente. Em todas as linhas usadas como exemplo a responsabilidade pela manutenção dos quadros está nas mãos dos operadores há mais de um ano.

Os quadros de nivelamento são uma poderosa ferramenta para o chão-de-fábrica. Eles, como complementares ao Sistema Kanban, exigem que se conheça a demanda com um certo grau de certeza. Caso contrário não se sabe o tamanho dos lotes a serem produzidos. Além disso, quando as embalagens são muito grandes, os benefícios do quadro são reduzidos.

Capítulo 5

Conclusões e recomendações

Este trabalho teve como objetivo apresentar um método completo e prático de implementação da produção puxada. Isto significa calcular o número de kanbans, definir a estrutura do quadro kanban e definir como estes cartões disparam o processo de produção.

O método desenvolvido neste trabalho substitui amplamente as equações apresentadas por Monden (1998), citadas em inúmeras publicações, pois avalia de forma muito mais completa a capacidade, ou habilidade, do processo fornecedor de atender as demandas do processo cliente e manter o supermercado em níveis adequados.

O modelo de quadro desenvolvido no trabalho surge com uma solução de cálculo e de construção genérica e abrangente, mostrando que aplicações em casos mais simples são casos especiais deste método de cálculo. A relação estabelecida entre o tempo de produzir uma embalagem com a largura do kanban de produção permite elevar o quadro de kanbans tradicional a um outro nível. O quadro de nivelamento torna-se uma ferramenta de gerenciamento visual da produção bem mais completa. Os momentos das preparações dos equipamentos, os atrasos ou adiantamentos da produção se tornam claros para todos.

O método de cálculo dos supermercados, desenvolvido neste trabalho, identifica, de maneira clara, quais são os elementos que compõe os supermercados de produção. Esta definição

supre os operadores de informações sobre a dinâmica do sistema de produção, permitindo que eles possam tomar decisões autonomamente sobre os próximos produtos a serem produzidos.

Cumprir enfatizar que a implementação da produção puxada é, também, um processo de transferência de responsabilidades para os operadores. Nos casos apresentados os programadores de produção puderam, efetivamente, se desincumbir de tal tarefa. Os operadores, por sua vez, desempenharam este papel com autonomia e responsabilidade e tiveram a auto-estima do time revigorada. Os exemplos práticos apresentados no decorrer deste trabalho conseguiram produzir estes benefícios para a empresa que os implementou.

Como sugestão para futuros estudos, podemos citar dois casos importantes que não foram tratados no escopo deste trabalho.

- ✓ A implementação do Sistema Kanban em ambientes com longos tempos de processo. Nestes casos, o tempo para produzir uma embalagem fica grande demais, podendo chegar a alguns dias. Por causa disto, o tamanho da faixa amarela fica grande demais caso seja usado o método apresentado neste trabalho.
- ✓ A implantação de sistemas visuais de controle da produção em ambientes com grande número de produtos. Colocar acima de 15 modelos diferentes em um quadro torna difícil a tomada de decisão do que produzir antes. Algumas linhas chegam a ter cerca de 50 modelos correntes. O papel do quadro de kanbans é o de gerenciar a produção. É necessário desenvolver alguma alternativa para estes casos.

Referências Bibliográficas

- Akturk, M. S., Erhun, F. An overview of design and operational issues of kanban systems, *International Journal of Production Reseach*, 1999, v. 37, n. 17, 3859-3881
- Aytug, H., Dogan C. A. Simulation analysis of order and kanban sequencing rules in a kanban-controlled flow shop, *Simulation*, 1999, v. 72, n. 4, p. 212-220
- Bicheno, John *The Lean Toolbox*. Buckinham: PICSIE Books, 2000, 201p.
- Co, HC., Sharafali M. Overplanning factor in Toyota's formula for computing the number of kanban, *IIE Transactions*, 1997, v. 29, n. 5, p. 409-415
- Cochran, D. S., Lima, P. C. Production and Manufacturing System Design, *The Journal of Manufacturing Systems*, 1999
- Cochran, D. S., Linck, J. The Importance of *Takt* Time in Manufacturing System Design. Massachusetts Institute of Technology, 1998
- Coleman, B. J., Vaghefi, M. R. Heijunka (?): a key to the Toyota Production System, *Production and Inventory Management Journal*, 1994, v. 35, n. 4, p. 31-35
- Dallery, Y., Liberopoulos, G. Extended kanban control system: combining kanban and base stock, *IIE Transactions*, 2000, v. 32, p. 369-386

- Duri, C., Fren Y., Di Masclo M. Comparison among three pull control policies: kanban, base stock, and generalized kanban, *Annals of Operations Research*, 2000, v. 93, p. 41-69
- Fujiwara, O., Yue, X., Sangradas, K., Luong H. T. Evaluation of performance measures for multi-part, single-product kanban controlled assembly systems with stochastic acquisition and production *lead times*, *International Journal of Production Research*, 1998, v. 36, n. 5, p. 1427-1444
- Gaury, E. G. A., Pierreval H., Kleijnen J. P. C. An evolutionary approach to select a pull system among Kanban, Conwip and Hybrid, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2000, v. 11, n. 2, p. 157-167
- Guimarães, L. F. A., *Modelagem de um Sistema Kanban através de programação estocástica e métodos de resolução*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, 1997. 103 p. Tese (Doutorado)
- Gupta, S. M., Al-Turky Y. A.Y. The effect of sudden material handling system breakdown on the performance of a JIT system, *International Journal of Production Research*, 1998, v. 36, n. 7, p. 1935-1960
- Gupta, S.M., Al-Turki, J. A. Y. An algorithm to dynamically adjust the number of Kanbans in stochastic processing times and variable demand environment, *Production Planning & Control*, 1997, v. 8, n. 2, p. 133-141
- Bowden, R. O., Hall, J. D., Usher, J. M. Integration of evolutionary programming and simulation to optimize a pull production System, *Computers Ind. Engng*, 1996, v. 31, n. 1-2, p. 217-220

- Hallihan, A., Sackett, P., Williams, G. M. *JIT manufacturing: the evolution to an implementation model founded in current practice*, *International Journal of Production Research*, 1997, v. 35, n. 4, p. 901-920
- Hemamalini, B., Rajendran, C. Determination of the number of containers, production kanbans and withdrawal kanbans; and scheduling in kanban flowshops - Part I, *International Journal of Production Research*, 2000, v. 38, n. 11, p. 2529-2548
- Hancock, W., Zaiko, M. Lean Production: Implementation problems, *IIE Solutions*, 1998, v. 30, n. 6, p. 38-42
- Huang, M., Wang DW., Ip W. H. A simulation and comparative study of the CONWIP, Kanban and MRP production control systems in a cold rolling plant, *Production Planning & Control*, 1998, v. 9, n. 8, p. 803-812
- Keller, A. Z., Kazazi, A. *Just-in-Time Manufacturing Systems: A literature review*, *Industrial Management and Data Systems*, 1993, v. 93, n. 7. P. 1-32
- Li, JW., Barnes D. J. Investigating the factors influencing the shop performance in a job shop environment with kanban-based production control, *International Journal of Production Research*, 2000, v. 38, n. 18. P. 4683-4699
- Liker, J. *Becoming Lean*. New York: Productivity Press, 1998, 320 p.
- Lima, P. C., Tardin, G. G., O papel de um Quadro de Nivelamento de Produção na produção puxada: um estudo de caso, *Anais do XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2000.
- Markham, I. S., Mathieu R. G., Wray, B.A. A rule introduction approach for determining the number of kanbans in a *Just-in-Time* production system, *Computers & Industrial Engineering*, 1998, v. 34, n. 4, p. 717-727

- Mertins, K., Lewandrowski, U. Inventory safety stocks of kanban control systems, *Production Planning & Control*, 1999, v. 10, n. 6, p. 520-529
- Monden, Yasuhiro *Toyota Production System*. 3ª. Edição, Tokyo: Eng Mng P, 1998, 480 p.
- Moreira, D. A. *Administração da Produção e Operações*. São Paulo: Editora Pioneira, 1993, 619 p.
- Nakamura, M., Sakakibara, S., Schroeder, R. Adoption of *Just-in-Time* Manufacturing Methods at U.S.- and Japanese-Owned Plants: Some Empirical Evidence, *IEEE Transactions On Engineering Management*, 1998, v. 45, n. 3, p. 230-240
- Nagendra P. B., Das S. K. MRP/sfx: a kanban-oriented shop floor extension to MRP, *Production Planning & Control*, 1999, v. 10, n. 3, p. 207-218
- Nicholas, John *Competitive Manufacturing Management*. Chicago: Irwin/McGraw-Hill, 1998, 840 p.
- Ohno, Taiichi *O Sistema Toyota de Produção*. Porto Alegre: Editora Artes Médicas Sul Ltda, 1997, 149p.
- Park, P. Uniform plant loading through level production, *Production & Inventory Management Journal*, 1993, v. 34, n. 2, p. 12-17
- Rother, M., Shook, J. *Aprendendo a enxergar*. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999, 97 p.
- Sengupta, S., Sharief, F. Dutta, S. P. Determination of the optimal number of kanbans and kanban allocation in a FMS: a simulation-based study, *Production Planning & Control*, 1999, v. 10, n. 5, p. 439-447
- Smith, W. *Time Out*. New York: John Wiley & Sons, 1998, 265 p.

- Takahashi, K., Nakamura, N. Ordering alternatives in *JIT* production systems, *Production Planning and Control*, 1998, v. 9, n. 8, p. 784-794
- Takahashi, K., Nakamura, N. Reacting *JIT* ordering systems to the unstable changes in demand, *International Journal of Production Research*, 1999, v. 37, n. 10, p. 2293-2313
- Womack, J., Jones, D., Roos, D. *A máquina que mudou o mundo*. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1992, 347 p.
- Womack, J., Jones, D. *A mentalidade Enxuta nas Empresas*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998, 427 p.
- Yu, M. C., Greene, T. J. The effects of routing flexibility in a multi-stage pull-type system, *International Journal of Production Research*, 2000, v. 38, n. 16, p. 3725-3746

Bibliografia Consultada

- Amin, M.; Altiok, T.; "Control policies for multi-product multi-stage manufacturing systems: an experimental approach", *Int. J. Prod. Res.*, 1997, v. 35, n. 1, p. 201-223.
- Anwar, M. F.; Nagi, R.; "Integrated scheduling of material handling and manufacturing activities for *Just-in-Time* production of complex assemblies", *Int. J. Prod. Res.*, 1998, v. 36, n. 3, p. 653-681.
- Aytug, H.; Dogan, C. A.; "Simulation analysis of order and kanban sequencing rules in a kanban-controlled flow shop", *Simulation*, 1999, v. 72, n. 4, p. 212-220.
- Bonvik, A. M.; Dallery, Y.; Gershwin, S. B.; "Approximate analysis of production systems operated by a CONWIP/ finite buffer hybrid control policy", *Int. J. Prod. Res.*, 2000, v. 38, n. 13, p. 2845-2869.
- Brote, S.; Cochran, D. S.; Mierzejewska, A.; Carrus. B.; Rupp, S.; Smith, J.; "Integrating the production information system with manufacturing cell design. A lean, linked cell production system design implementation", *Society of Automotive Engineers*, 1999, 99IAM-28
- Fumagali, A. J. *Implementação de Manufatura Enxuta em Ambiente de Montagem e Impacto de Variabilidades*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 103 p. Dissertação (Mestrado)

- Fujiwara, O.; Yue, X.; Sangaradas, K.; Luong, H. T.; "Evaluation of performance measures for multi-part, single-product kaban controlled assembly systems with stochastic acquisition and production *lead time*", *Int. J. Prod. Res.*, 1998, v. 36. n. 5, p. 1427-1444.
- Lobo, C.; Lobo, Y.; Lima, P.; "An application of axiomatic design for design of a manufacturing cell on an automotive supplier industry", *15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering*, 1999.
- Panizzolo, R.; "Applying the lessons learned from 27 lean manufacturers. The relevance of relationships management", *International Journal of Production Economics*, 1998, v. 55, p. 223-240.
- Ramesh, R.; Prasad, S. Y.; Thirmurthy, M. V.; "Flow Control in Kanban based multicell manufacturing: II. Design of control systems and experimental results", *Int. J. Prod. Res.*, 1997, v. 35, n. 9, p. 2413-2427.
- Stalk Jr., G.; "Time-the next source of competitive advantage", *Harvard Business Review*, July-August 1988, n. 88410, p. 41-51.
- Takahashi, K.; Nakamura, N.; "Reactive logistics in a *JIT* environment", *Production Planning & Control*, 2000, v. 11, n. 1, p. 20-31.