

MARIANA FLEURY DONATELLI

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA KANBAN EM UMA FÁBRICA DE
PNEUS DE GRANDES DIMENSÕES

São Paulo
2008

MARIANA FLEURY DONATELLI

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA KANBAN EM UMA FÁBRICA DE
PNEUS DE GRANDES DIMENSÕES

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma de
Engenharia de Produção.

São Paulo
2008

MARIANA FLEURY DONATELLI

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA KANBAN EM UMA FÁBRICA DE
PNEUS DE GRANDES DIMENSÕES

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma de
Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita

São Paulo
2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Donatelli, Mariana Fleury

Implementação de um sistema kanban em uma fábrica de pneus de grandes dimensões / M.F. Donatelli. – São Paulo, 2008. p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Just in time 2.Administração da produção 3.Pneus (Fabricação;controle) I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Marco Aurélio de Mesquita pelo apoio, pelo comprometimento e pelos conhecimentos transmitidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a toda a equipe da Michelin que me acolheu e me ensinou muito durante este período nos Estados Unidos. Gostaria de mencionar Dan Squires e Pam Childers por todo o conhecimento passado e por terem me acolhido em suas famílias. Agradeço também a Scott Beecroft pela confiança, liberdade e responsabilidade dadas a mim para desenvolvimento deste projeto. Finalmente, gostaria de agradecer aos demais gestores, chefes de equipe e operadores, pelo conhecimento e experiência transmitidos e pela receptividade.

Gostaria também de agradecer a minha família, por todo apoio, amor e presença em todas as etapas pelas quais passei, mesmo com a distância em diversos momentos. Agradeço em especial à minha irmã, Luisa, pelo companheirismo e apoio durante estes últimos meses.

Agradeço, por fim, ao Luiz Augusto, por estar presente em todos estes momentos e participar ativamente de todos eles, e por ter me apoiado em todas as decisões tomadas.

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo e implementação de um sistema *kanban* dentro de uma fábrica de pneus de grandes dimensões. Partindo dos princípios da produção enxuta, percebeu-se a necessidade de eliminar os desperdícios, aumentando a produtividade e reduzindo os custos. Este estudo mostra as diferentes fases do desenvolvimento e da implementação do sistema de produção puxada, incluindo os aspectos técnicos e humanos envolvidos em uma mudança como esta. O sistema *kanban* é considerado um dos sistemas mais simples e de menor custo, que pode levar a empresa a ganhos de produtividade e de custos significativos. Porém, este trabalho visa apresentar a importância de considerar o aspecto humano deste tipo de implementação, mostrando que o comprometimento de gestores e operadores é fundamental para que as novas práticas sejam realizadas com sucesso. A introdução da produção enxuta em uma fábrica não é apenas uma mudança técnica, mas também uma mudança de princípios e de mentalidade, na busca da melhoria contínua. Os resultados deste projeto também serão apresentados, através de uma análise dos ganhos quantitativos e qualitativos obtidos após a implementação deste piloto.

Palavras-chave: *Kanban*, produtividade, produção enxuta, gerenciamento de mudanças.

ABSTRACT

This paper presents the study and the implementation of a *kanban* system in a plant that produces tires of high dimensions. Based on the principles of the Lean Production, the need of reducing waste was perceived as the way to improve productivity and reduce costs. This study shows the different phases of the development and implementation of the pull-production system, including both technical and human aspects involved in this kind of changes. The *kanban* system is considered to be one of the simplest and most effective systems, with reduced investment's needs. The gains in productivity and cost reduction can be very significant, and will also be presented in this paper. In addition, this work presents the importance of considering the human aspect in this kind of implementation, showing that the commitment of managers and operators is essential so that the new practises can be successfully implemented. The introduction of the lean manufacturing in a plant is not only a technical change, but also a change in the principles and in the mentality, in a search of continuous improvement. The results of this project are also presented in this paper, through the analysis of quantitative and qualitative gains achieved with the implementation of a *kanban* system.

Key words: Kanban, productivity, lean manufacturing, changes management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 : Distribuição das unidades de produção e dos centros de tecnologia do Grupo Michelin.....	12
Figura 1.2 : Diferença entre o pneu convencional e o radial.....	13
Figura 1.3 : Estrutura geral do pneu radial Michelin.....	14
Figura 1.4 : O pneu “59/80 R 63 XDR C4 E4R TL” tem 4,03 m e pesa 5,3 t.....	16
Figura 2.1 : Fluxo de informações e de materiais no sistema <i>Kanban</i>	31
Figura 2.2 : Relação entre o Sistema <i>Kanban</i> e as Melhorias das Atividades	32
Figura 2.3 : Exemplo de quadro <i>kanban</i>	35
Figura 2.4 : Estágios conceituais e técnicas de implementação do SMED.....	39
Figura 3.1 : Seqüência das jornadas de trabalho	47
Figura 3.2 : Desenho esquemático do processo produtivo na fábrica de Lexington	48
Figura 3.3 : Mapa do Fluxo de Valor da fábrica de Lexington	49
Figura 3.4 : Desenho esquemático do corte dos rolos mestre na produção das lonas de topo.....	56
Figura 3.5 : Desenho esquemático da produção das lonas de topo nas cortadeiras	57
Figura 3.6 : Carro utilizado na armazenagem e transporte das bobinas de lonas de topo	63
Figura 3.7 : Estrutura para a armazenagem das bobinas de lonas de topo ao lado das máquinas de acabamento.....	65
Figura 4.1 : Mapeamento do Fluxo de Valor para o estado atual (lonas de topo).....	68
Figura 4.2 : Exemplo de lista de produção para uma das cortadeiras.....	71
Figura 5.1 : Desenho esquemático do <i>container kanban</i>	78
Figura 5.2 : Exemplo de cartões <i>kanban</i> para as 6 lonas de topo da dimensão 1.....	79
Figura 5.3 : Desenho esquemático do quadro <i>kanban</i>	81
Figura 5.4 : Exemplo de <i>container</i> completo com o cartão equivalente	82
Figura 5.5 : Quadro <i>kanban</i>	93
Figura 6.1 : Gráfico da evolução do tempo médio perdido por falta de lonas de topo antes e depois da implementação do sistema <i>kanban</i>	96
Figura 6.2 : Gráfico da evolução do número de <i>setups</i> realizados antes e depois da implementação do <i>kanban</i>	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 : Fábricas de pneus para veículos de Construção Civil e de Mineração do Grupo Michelin	17
Tabela 3.1 : Tabela de parâmetros dos diferentes artigos de lonas de topo para cada dimensão de pneu.....	54
Tabela 3.2: Tempo de consumo de uma bobina em uma máquina de acabamento para cada dimensão e grupo de produto	58
Tabela 3.3 : Tempo de <i>setup</i> de acordo com o tipo de mudança na produção.....	61
Tabela 3.4 : Número de pneus produzidos com uma bobina	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	A Empresa.....	11
1.2	O Produto.....	13
1.2.1	Pneu Radial	13
1.2.2	Pneus para Mineração e para Construção Civil	15
1.3	Formulação do Problema.....	18
1.4	Objetivos.....	19
1.5	Estrutura do Trabalho	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Manufatura Enxuta.....	23
2.1.1	O Desenvolvimento de uma Nova Técnica de Produção	23
2.1.2	Os Princípios da Manufatura Enxuta.....	25
2.2	Mapeamento do Fluxo de Valor.....	27
2.3	<i>Kanban</i>	28
2.3.1	Noções Gerais	28
2.3.2	Determinação do Número de <i>Kanbans</i>	32
2.3.3	Melhorando com o <i>Kanban</i>	36
2.4	Troca Rápida de Ferramentas (SMED)	38
2.5	5S.....	41
2.6	Melhoria Contínua (<i>Kaizen</i>)	42
3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO	45
3.1	A Fábrica de Lexington	45
3.1.1	Visão Geral do Processo Produtivo	47
3.1.2	Planejamento da Produção	51
3.2	As Lonas de Topo	53
3.3	O Processo de Produção das Lonas de Topo	56
3.4	As Cortadeiras.....	59
3.5	Mudança de Produção (<i>Setup</i>)	60
3.6	Armazenagem e Transporte	61

4	PROPOSTA DE MELHORIA	67
4.1	Mapeamento do Fluxo de Valor	67
4.2	Programação da Produção	69
4.3	Procedimento de “Phase-in” e “Phase-out”	72
4.4	Problemas Observados e Proposta do Projeto	73
5	IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA <i>KANBAN</i>	77
5.1	Definição do Tamanho do Container	77
5.2	Cartão <i>Kanban</i>	79
5.3	Quadro <i>Kanban</i>	80
5.4	Fluxo de Cartões	82
5.5	Número de Cartões <i>Kanban</i>	86
5.6	As Etapas da Implementação	87
5.6.1	Comunicação e Treinamento	87
5.6.2	Implementação em Duas Fases	90
5.7	Implementação do <i>Kanban</i> na Cortadeira de Lonas Carcaça	93
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	95
6.1	Resultados Quantitativos	95
6.2	Resultados Qualitativos	99
6.3	Perspectivas e Oportunidades	105
7	CONCLUSÃO	109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a implementação de técnicas de Produção Enxuta em uma fábrica de pneus especiais que utilizava um sistema predominantemente de produção empurrada.

Em um contexto de demanda crescente e de necessidade de expansão da fábrica, que será detalhado posteriormente, a otimização de cada processo produtivo é fundamental para minimizar as perdas e aumentar a capacidade de produção. Além disso, a forte concorrência, impulsionada não apenas pelos grandes grupos, mas também por produtores locais e regionais, está obrigando as fábricas do grupo a reduzirem seus custos e aumentarem a produção.

Deste modo, esse trabalho propõe a implementação do sistema *kanban* e de outras práticas da Produção Enxuta em uma área piloto dentro da fábrica, com o intuito de mostrar os benefícios na redução dos desperdícios e no aumento da produtividade, sugerindo a importância da ampliação destes conceitos para os outros setores da fábrica.

Este trabalho consiste no projeto realizado em uma fábrica do grupo Michelin, localizada em Lexington, uma pequena cidade da Carolina do Sul, nos Estados Unidos. Este projeto foi realizado durante um estágio de seis meses, que englobou o estudo, o desenvolvimento e a implementação do sistema *kanban* em uma área piloto dentro da fábrica.

Neste primeiro capítulo, o grupo Michelin será brevemente apresentado, mostrando um pouco do seu histórico e do contexto atual. Em seguida, o produto “pneu” será caracterizado através da apresentação da tecnologia radial e da composição do pneu radial. Uma seção especial será destinada aos pneus de Mineração e Construção Civil produzidos na fábrica de Lexington. Conhecer o contexto atual deste segmento de mercado será fundamental na compreensão dos desafios e das mudanças pela qual a empresa está passando.

A seguir, a formulação do problema e a apresentação dos objetivos deste trabalho complementarão a abordagem inicial do projeto realizado.

1.1 A Empresa

Em 1889, os irmãos André e Édouard Michelin criaram a empresa Michelin et Cie, localizada em Clermont-Ferrand, na França. A fábrica contava na época com 52 funcionários.

Em 1891 a Michelin inventa o primeiro pneu desmontável para bicicleta, marcando o início da era industrial dos pneus. A Michelin inova mais uma vez ainda no final do século XIX colocando em circulação o primeiro automóvel sobre pneus, em 1895.

O Grupo Michelin é hoje um dos maiores produtores de pneus do mundo, com 17,2% de participação nesse setor, segundo o site do grupo. É também conhecido pelos famosos Guias Michelin, guias turísticos de classificação de restaurantes e hotéis. A produção da empresa em 2007 atingiu 191 milhões de pneus e mais de 17 milhões de mapas e guias turísticos.

A Michelin conta atualmente com 121 mil funcionários, dos quais 4000 pesquisadores em 3 centros de tecnologia. A distribuição das 69 fábricas e dos 3 centros de tecnologia do grupo está ilustrada na **Figura 1.1**.

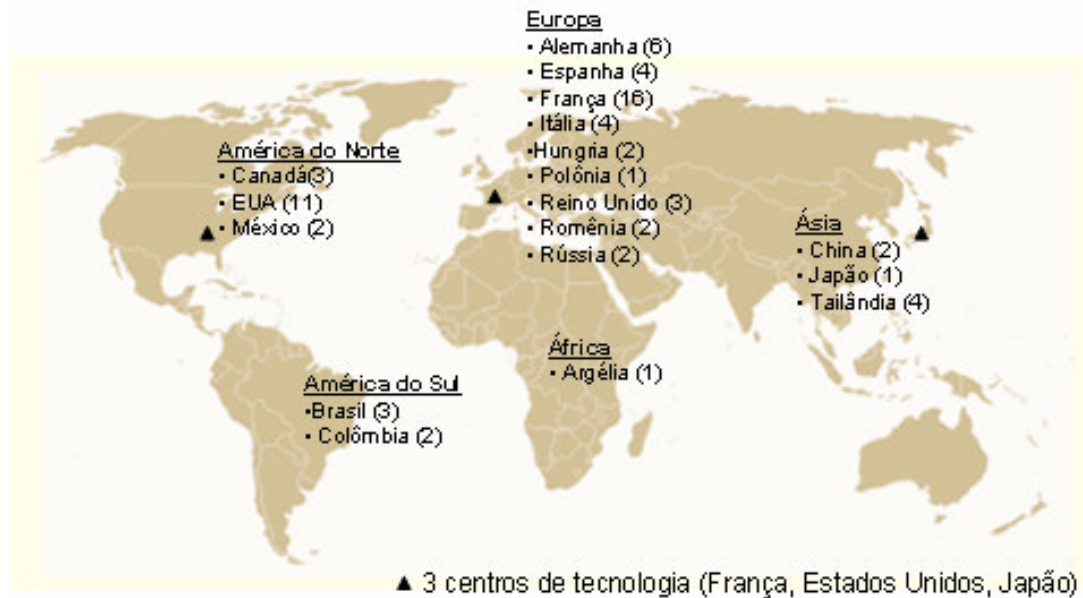


Figura 1.1 : Distribuição das unidades de produção e dos centros de tecnologia do Grupo Michelin

A Michelin é organizada mundialmente em linhas de produtos:

- Pneus Agrícolas
- Pneus de Avião

- Pneus de Automóveis e Caminhonetes
- Pneus de Carga
- Pneus de Mineração e Construção Civil
- Pneus para Motos e Bicicletas
- Componentes do pneu (borrachas e produtos metálicos)
- Guias de Viagem

A fábrica, onde o projeto apresentado nesse trabalho foi realizado, produz pneus de grande porte utilizados nos veículos para mineração e para construção civil. Assim, um detalhamento deste produto, seu mercado e a fábrica de Lexington serão fornecidos na próxima seção.

1.2 O Produto

1.2.1 Pneu Radial

O pneu radial foi inventado e patentiado pela Michelin em 1946. Essa invenção foi uma revolução no mundo do pneu e garantiu à empresa uma vantagem significativa em relação aos concorrentes.

A **Figura 1.2** mostra a diferença na estrutura dos pneus, o convencional e o radial. O pneu convencional apresenta uma sobreposição das lonas de carcaça de forma cruzada, fazendo com que não exista diferença entre a estrutura do topo e da lateral do pneu. A estrutura radial, por sua vez, apresenta uma lona carcaça única e flexível composta por arcos radiais, e lonas metálicas de topo para estabilizar a banda de rodagem. Com isso, a função do topo e das laterais passa a ser diferenciada.

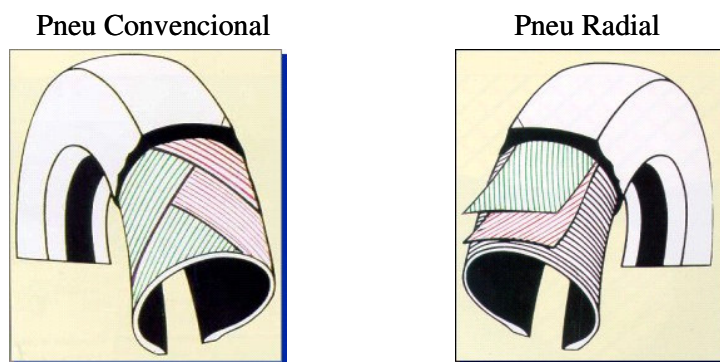


Figura 1.2 : Diferença entre o pneu convencional e o radial

A grande maioria dos pneus Michelin é radial. Outras empresas de pneumáticos ainda utilizam os pneus convencionais, em alguns casos, mas os radiais são os mais difundidos e comercializados. Um exemplo de utilização de pneus convencionais são as motos destinadas a *off-roads*, onde o pneu é submetido a solos não uniformes, porém a velocidades pouco elevadas.

A estrutura do pneu radial é apresentada na **Figura 1.3** e sua compreensão será importante no entendimento do processo de fabricação e no desenvolvimento do projeto. Essa estrutura é comum a todos os tipos de pneus, porém algumas particularidades na estrutura dos pneus de grande porte produzidos em Lexington serão descritas no decorrer desse trabalho.

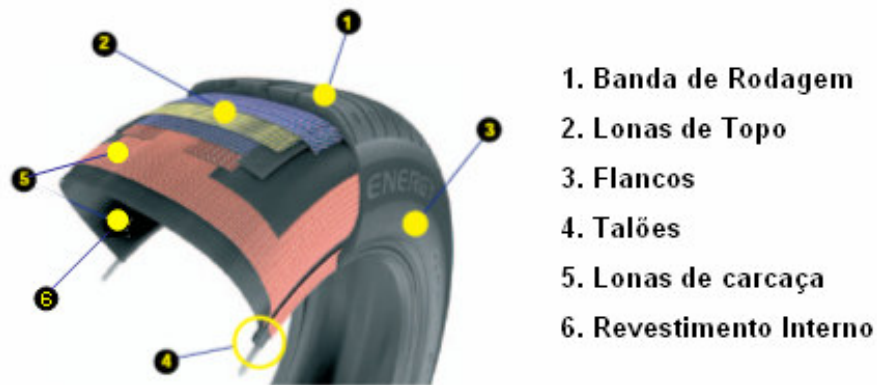


Figura 1.3 : Estrutura geral do pneu radial Michelin

1. **Banda de rodagem:** é a parte do pneu que estará em contato com o solo. Assim, a composição da borracha que a compõe deve permitir a aderência a todo tipo de solo e ser resistente ao desgaste e ao calor. Este componente é colocado por cima das lonas de topo.
2. **Lonas de topo:** também conhecidas como lonas de cima, essas lonas formam a cintura metálica dos pneus radiais, garantindo a rigidez da banda de rodagem e a maior durabilidade do pneu. São constituídas por cabos de aço finos e resistentes colocados em meio à borracha. Na fabricação do pneu, essas lonas são cruzadas de forma oblíqua e sobrepostas, de acordo com as características do pneu, a fim de garantir a rigidez do topo. O processo de fabricação e o fluxo destes componentes será o foco deste trabalho.

3. **Flancos:** formam a lateral do pneu e têm como finalidade protegê-lo dos choques que podem deteriorar a carcaça. Nos pneus radiais são bastante flexíveis, conforme descrito anteriormente, garantindo maior conforto na direção.
4. **Talões:** é a zona de contato entre o pneu e a roda. É composto por fios de aço de alta resistência revestidos por uma borracha dura para impedir qualquer movimentação do aro.
5. **Lona carcaça:** é um importante componente do pneu que tem como finalidade suportar a carga externa e a pressão interna. Por isso, sua estrutura é composta por uma lona de borracha reforçada por fibras têxteis (para pneus de carro e de moto) ou por fibras metálicas (para pneus de caminhão e de trator), para garantir a resistência do material.
6. **Revestimento Interno:** esta capa de borracha localizada na parte interna do pneu funciona como uma câmara de ar, que não deixa passar o ar para o exterior.

1.2.2 Pneus para Mineração e para Construção Civil

Essa categoria de pneus possui uma grande variedade de tamanhos e tipos, de acordo com a finalidade e as características do veículo:

- Mineração: caminhões rígidos utilizados especialmente em minas de superfície ou tratores de minas subterrâneas;
- Construção civil: carregadeiras, cimenteiras, guas e outros equipamentos de construção;
- Indústria: empilhadeiras e outros equipamentos industriais.

É importante precisar a grande variação de dimensões que essa gama de pneu proporciona: desde pequenos pneus para empilhadeiras de 5,6 kg, até pneus de grande porte utilizados em tratores de minas chegando a 6 toneladas e até 4 metros de altura. A **Figura 1.4** mostra um exemplo de utilização deste tipo de pneu.



Figura 1.4 : O pneu “59/80 R 63 XDR C4 E4R TL” tem 4,03 m e pesa 5,3 t

A capacidade de carga deste pneu pode chegar a 100 toneladas. Eles são utilizados em minas de superfície e, na Michelin, são produzidos na fábrica de Lexington, onde o estágio foi realizado, e na fábrica de Vitória, na Espanha. Todos os pneus de mineração e construção civil utilizam a tecnologia radial.

A Michelin e a Bridgestone são as empresas que possuem a maior participação neste mercado, seguidas pela Goodyear com um volume significativamente inferior.

O mercado de pneus de mineração e de construção civil vem apresentando crescimento elevado nos últimos anos. Vale ressaltar que os dados de mercado apresentados neste trabalho foram analisados antes da crise financeira que se agravou a partir de outubro de 2008. Com a instabilidade do mercado atual, não é possível ainda analisar o impacto concreto da crise no mercado de pneus de grande porte. Com isso, os dados disponibilizados neste trabalho apresentam a situação pré-crise, caracterizada por uma alta da demanda, sendo esta superior à oferta.

Este mercado representa atualmente 6% do mercado mundial, o que corresponde a 1,32 milhões de toneladas. Segundo estimativas publicadas pelo grupo Michelin, o crescimento será mantido para os próximos anos, podendo atingir 1,9 milhões em 2012. O chamado “boom da mineração” é o principal motor deste crescimento, impulsionado particularmente pela alta demanda por matéria prima da China e de outros países emergentes para alimentar a expansão econômica.

Devido a alta demanda, o mercado apresenta uma falta global de pneus de grande porte, fazendo com que as empresas deste setor foquem seus investimentos na ampliação de

sua capacidade produtiva. Em razão de uma oferta inferior à demanda, pequenos fabricantes locais, especialmente chineses, estão ampliando suas atividades e ganhando mercado.

A Michelin possui atualmente cinco fábricas que produzem essa categoria de pneu, conforme apresentado na **Tabela 1.1**.

Tabela 1.1 : Fábricas de pneus para veículos de Construção Civil e de Mineração do Grupo Michelin

Local	País	Início	Tipo de pneu	Diâmetro interno do pneu
Vitória	Espanha	1969	- Mineração e terraplanagem	De 25'' a 63''
Montceau-les-Mines	França	1971	- Mineração e terraplanagem (pequeno porte) - Construção Civil - Equipamentos industriais	24'' e 25''
Le Puy-en-Valey	França	1977	- Mineração e terraplanagem - Construção Civil	De 25'' a 49''
Lexington	EUA	1998	- Mineração e terraplanagem	De 51'' a 63''
Rio de Janeiro	Brasil	2008	- Mineração e terraplanagem	De 25'' a 49''

Para atender à crescente demanda, a Michelin iniciou altos investimentos a partir de 2005 para aumentar sua capacidade produtiva em 65% em 5 anos. Os dois projetos principais são:

- Expansão da fábrica de Lexington (EUA): o projeto aprovado em 2005 conta com um investimento de 85 milhões de dólares para ampliação da fábrica e obtenção de um aumento de 50% na capacidade produtiva, de 2005 a 2009. Novos projetos de expansão até 2012 estão sendo analisados e alguns já foram aprovados;
- Construção de uma fábrica no bairro de Campo Grande, no Rio de Janeiro (Brasil): com investimentos em torno de 200 milhões de dólares, a Michelin inaugurou em fevereiro de 2008 a sua nova fábrica de pneus de mineração e construção civil, localizada ao lado da fábrica de pneus de caminhão já existente. A capacidade de produção anual é de 40 mil toneladas por ano, podendo ser ampliada a 55 mil nos próximos anos.

Assim, esse mercado está caracterizado pela forte concorrência e por uma demanda crescente bastante superior à oferta. Vale ressaltar que os preços deste tipo pneu variam de US\$ 20 mil a US\$ 150 mil, conforme as dimensões e as características do pneu. Isso mostra que, apesar de um mercado ainda restrito em quantidade, é um setor bastante lucrativo, com margens bastante elevadas.

1.3 Formulação do Problema

O projeto apresentado neste trabalho foi desenvolvido durante um estágio de seis meses na fábrica que produz pneus para mineração e construção civil do grupo Michelin, localizada em Lexington, nos Estados Unidos.

A fábrica de Lexington passa por um momento importante de expansão, sendo alvo de grandes investimentos e foco de interesse do grupo como um todo. Deste modo sua produtividade e a qualidade de seus produtos e processos estão sendo constantemente avaliados.

Além disso, com a crescente demanda e a limitação da capacidade de produção dos fornecedores de pneus deste tipo, um pneu a mais produzido representa um pneu a mais vendido. Esta pressão do mercado é traduzida internamente por uma necessidade de otimizar os processos de produção, eliminando desperdícios, reduzindo custos e aumentando a produtividade.

O processo de fabricação na fábrica de Lexington é composto por três etapas de fabricação do pneu: a área de fabricação dos componentes, a área de montagem do pneu e a área de vulcanização. Estas etapas serão detalhadas no capítulo 3.

Alguns pontos de melhoria são facilmente identificados ao longo do processo. Estoques elevados de alguns componentes e a falta freqüente de outros ocorrem quotidianamente na fábrica. Um estudo detalhado não havia sido feito até então, e muitas vezes supôs-se que a razão para estas faltas era a falta de capacidade instalada nas máquinas de fabricação dos componentes, em relação à capacidade das máquinas de montagem e de vulcanização. Esta informação, porém, será contestada adiante.

O mesmo ocorre com as matérias-primas, onde a variação do nível de estoque é bastante significativa. Tanto para os componentes quanto para as matérias-primas, o excesso de estoque é a causa de grandes perdas não apenas pelo custo do estoque, mas também porque

existe uma restrição de validade para os componentes de borracha, variando de alguns dias a até um mês, dependendo do produto. Por outro lado, a falta de componente é também um grave problema, especialmente neste contexto de busca por maior produtividade, pois paralisa as etapas subseqüentes. Cada minuto sem produzir representa grandes perdas.

Além disso, diversos problemas de fluxo de materiais são visivelmente percebidos. Os problemas são mais acentuados nos componentes metálicos utilizados nas máquinas de acabamento, as lonas de topo. Problemas importantes de fluxo são percebidos e serão incluídos no projeto.

Estes problemas são bastante comuns em empresas que utilizam a produção empurrada e a programação da produção desdobrada de acordo com as previsões de venda e de produção.

1.4 Objetivos

O objetivo principal do projeto desenvolvido e apresentado neste trabalho é iniciar a produção enxuta na empresa, começando por um dos setores da fábrica e propondo a extensão das práticas para os demais estágios do fluxo de produção.

A mudança de uma produção empurrada pela previsão para uma produção puxada pela demanda requer muitas etapas e o comprometimento de diversos departamentos da fábrica.

Este trabalho apresenta a implementação de um sistema *kanban* em uma área piloto, mostrando seus benefícios em termos de redução de custos e o aumento da produtividade. Serão apresentadas as fases de desenvolvimento e de implementação dos conceitos da Produção Enxuta, mostrando também os resultados finais da implementação e as oportunidades de ampliação destas práticas. O setor escolhido para o projeto piloto foi o de produção das lonas de topo, composto por três cortadeiras. Nestas máquinas as lonas de topo são produzidas, através do corte e da junção de tiras provenientes dos rolos mestres. As lonas de topo são armazenadas e movimentadas na forma de bobinas. O posto cliente, que também será envolvido na implementação do sistema, é o setor de acabamento, composto por 16 máquinas.

O objetivo deste projeto foi não somente resolver os problemas pontuais deste setor da fábrica, mas também mostrar os benefícios da produção enxuta e os ganhos potenciais. Assim, este trabalho visa também apresentar novas propostas de ampliação dos conceitos de *Lean*

para os estágios seguintes e anteriores (fluxo de valor), a fim de desenvolver uma comunicação eficiente e eficaz em toda a cadeia produtiva, desde os fornecedores, até o cliente final.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este primeiro capítulo apresentou uma visão geral da empresa e do mercado de pneus de mineração e construção civil, com a finalidade de mostrar os desafios enfrentados pela fábrica de Lexington, que serão considerados no escopo deste projeto.

A implementação do sistema *kanban* em uma área piloto da fábrica dever ser o início de um processo de implementação do sistema de produção enxuta em uma empresa que tradicionalmente utiliza a produção “empurrada”.

No capítulo 2, uma revisão bibliográfica dos tópicos mais relevantes no desenvolvimento do projeto será apresentada. Este embasamento teórico inclui as principais ferramentas relacionadas à produção enxuta, como o sistema *kanban*, 5S, troca rápida de ferramentas, *kaizen*, entre outros.

O capítulo 3 apresenta o detalhamento da fábrica de Lexington, mostrando a organização do processo produtivo, bem como a organização dos turnos de trabalho. Em seguida, a área onde o projeto piloto do sistema *kanban* foi implementado, será detalhada através da apresentação das características e particularidades do componente, as lonas de topo. Além disso, o próprio processo produtivo, envolvendo as máquinas de fabricação e o fluxo dos componentes, também será desenhado, visando melhor entendimento dos desafios na implementação do sistema *kanban*.

Em seguida, o capítulo 4 trará o mapeamento do fluxo de valor, como ferramenta para identificação de pontos de melhoria. O sistema de programação da produção nesta área da fábrica, antes da implementação do *kanban*, também será mostrado visando a identificação dos principais problemas. Com base nestes dados, uma análise dos problemas observados e das metas a serem obtidas com o *kanban* fornecerá as diretrizes para o desenvolvimento e implementação do sistema *kanban*, descrito no capítulo 5.

No capítulo 5, serão apresentados todo o desenvolvimento do sistema *kanban* e as particularidades do sistema aplicado nesta fábrica. Isto inclui a definição do tamanho do lote de transferência (que chamaremos neste trabalho de *container*), a quantidade de cartões

kanban, o quadro *kanban* e o fluxo de cartões e de *containers*. Finalmente, as etapas da implementação do sistema mostrarão a importância da comunicação aos operadores e da participação dos mesmos em todo o processo. O comprometimento dos operadores será fundamental para o sucesso do projeto e o aspecto humano desta implementação será abordado neste capítulo.

O capítulo 6 discute os resultados obtidos com a implementação do sistema *kanban*, um mês após a implementação completa. Além disso, as perspectivas e oportunidades de extensão das ferramentas de produção enxuta para outros setores da fábrica também serão mencionadas, mostrando os próximos passos a serem seguidos pela empresa.

Finalmente, o capítulo 7 traz a conclusão do trabalho, realçando os resultados obtidos e os desafios enfrentados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Manufatura Enxuta*

2.1.1 O Desenvolvimento de uma Nova Técnica de Produção

O sistema Toyota de Produção foi desenvolvido por Kiichiro Toyoda e Taiichi Ohno logo após a Segunda Guerra Mundial. Em um contexto de competitividade crescente, onde a indústria japonesa se caracterizava pela baixa produtividade e falta de recursos, Taiichi Ohno, principal engenheiro de produção da Toyota na época, buscou novas alternativas para enfrentar estes desafios. Analisando as práticas existentes até então, a produção em massa e a produção artesanal, decidiu que nenhuma das duas seria eficaz para a Toyota. A primeira, não permitia atender de maneira eficaz a necessidade de diversificação de produtos imposta pelos clientes. A crescente concorrência e o aumento das exigências dos consumidores em termos de variedade não faziam parte dos princípios da produção em massa desenvolvida por Henry Ford no início do século XX. Este havia desenvolvido um sistema baseado na especialização e divisão do trabalho, para atender a uma produção em massa de um único modelo, no caso o Modelo T. A produção artesanal, por sua vez, baseava-se em trabalhadores especializados, produção em pequena quantidade e lenta, acarretando em altos custos. Assim, nenhuma das duas práticas parecia atender os desafios da Toyota nesta época: diversificação de produtos, com baixo custo e alta produtividade.

Womack e Jones (1992) relatam que uma das primeiras técnicas desenvolvidas por Ohno foi a troca rápida. Através de inúmeras experiências com moldes da linha de estampagem, Ohno aprimorou suas técnicas de troca rápida reduzindo este tempo de 1 dia para 3 minutos. Além disso, a troca de moldes era feita pelos próprios operadores de máquinas, sem a necessidade de um especialista, como ocorria na Ford e em outras montadoras tradicionais. A idéia de Ohno era poder realizar trocas de moldes a cada duas ou três horas, podendo assim utilizar a mesma linha para a produção de peças diferentes. Assim, a redução do tempo de *setup* e a conseqüente rapidez de mudança do *mix* de produtos, tornaram possível a produção em pequenos lotes, aumentando a flexibilidade. Estas são algumas das características principais do sistema de produção enxuta desenvolvido pela Toyota.

Este primeiro passo na implementação do que hoje chamamos de produção enxuta permitiu a materialização de uma idéia chave deste processo: a produção em pequenos lotes.

Surpreendentemente, o custo por peça neste caso se mostrou inferior ao custo por peça na produção em massa. Duas razões são apresentadas como justificativa para este fato: de um lado a produção em pequenos lotes reduziu o custo de estocagem de grande quantidade de peças acabadas, mantidas no sistema de produção em massa. Além disso, a produção em pequenos lotes permite também a identificação de peças defeituosas quase que instantaneamente e antes que estas sejam utilizadas. Com isso, percebeu-se a necessidade de formar profissionais altamente qualificados e motivados.

Ohno identificou ainda outras fontes de desperdícios nas fábricas ocidentais, como alguns cargos que, segundo ele, não agregavam valor ao produto. Era o caso dos mecânicos especialistas, dos inspetores de qualidade e dos faxineiros que limpavam as áreas de trabalho. Para combater o que considerava desperdício, Ohno montou equipes de trabalhadores responsáveis por uma área definida da montagem. Além disso, cada equipe passou também a ser responsável pelas atividades de limpeza, pelas trocas de ferramentas e pelo controle de qualidade. Mais do que isso, foi criado um “processo de aperfeiçoamento contínuo e gradual”, denominado *Kaizen*, desenvolvido e liderado pelas próprias equipes.

Assim, operadores polivalentes eram responsáveis não mais por uma única e repetitiva tarefa, mas por diversas atividades relacionadas ao processo de fabricação. A busca da perfeição e da qualidade máxima fez com que Ohno desenvolvesse uma nova prática dentro das equipes, os “cinco porquês”. Este método consiste em investigar as reais causas de uma falha, para que não volte a ocorrer. A equipe é responsável por se questionar cinco vezes o porquê daquela falha, remontando à raiz do problema, a fim de solucioná-lo para que não volte a acontecer.

No que diz respeito ao fluxo de peças, dentro e fora da fábrica, Ohno implementou o sistema “*just-in-time*”, que se baseia no suprimento da quantidade certa na hora certa. Uma das ferramentas utilizadas é o *kanban*, que será descrito com mais detalhes ainda neste capítulo.

Em decorrência das técnicas descritas anteriormente, o Sistema Toyota de Produção torna possível a otimização de diversos recursos, como por exemplo: a quantidade de estoque intermediário, o número de trabalhadores e o espaço de fabricação. Uma grande diferença é percebida também no que diz respeito à força de trabalho em uma fábrica que utiliza a produção enxuta em relação a uma que utiliza a produção em massa; a moral e o sentimento

de importância de seu trabalho por parte dos trabalhadores garantem motivação e o comprometimento com a empresa.

2.1.2 Os Princípios da Manufatura Enxuta

Womack e Jones (1998) apresentaram o Pensamento Enxuto (*Lean Thinking*), uma filosofia baseada no sistema Toyota de Produção, visando identificar as atividades que agregam valor e os desperdícios em determinado negócio. São apresentados cinco princípios fundamentais:

- Especificação do valor desejado pelo cliente: o valor só pode ser definido pelo cliente e deve ser especificado com base nas suas exigências e percepções. O foco no cliente deve ser mantido;
- Identificação da cadeia de valor para cada produto: através deste complexo procedimento a empresa deve destacar as atividades que agregam valor ao produto das que não o fazem. Grande parte das atividades que não agregam valor segundo a percepção do cliente podem ser consideradas como desperdícios; atividades que causam perdas importantes para a empresa. Neste caso, devem ser eliminadas. A idéia é sempre aprimorar a cadeia de valor. Este princípio será descrito com mais detalhes na seção 2.2;
- Garantia de fluxo contínuo entre as atividades que agregam valor: após mapear as atividades que agregam valor na empresa, o próximo passo é garantir o fluxo de valor contínuo entre as atividades remanescentes;
- Introdução do fluxo puxado da produção: esta etapa consiste em mudar a programação da produção, até então baseada na previsão de vendas, para uma produção em função do que o cliente quer, ou seja, puxada pela demanda real do cliente;
- Busca contínua pelo aperfeiçoamento (*kaizen*): a última etapa é conscientizar a todos de que não existe limite para o aperfeiçoamento, ou seja, é sempre possível otimizar os processos no sentido de reduzir custos, tempo, espaço e defeitos, produzindo produtos cada vez mais adequados às necessidades do cliente.

O sistema de produção enxuta visa então eliminar desperdícios, concentrando os esforços em atividades que agregam valor ao cliente e criando uma mentalidade de melhoria

contínua, o *kaizen*. O *kaizen* pode ser definido como o modo pelo qual a cadeia de valor será aprimorada. Isto significa que todo desperdício deve ser eliminado da cadeia de valor. Ohno (1997) identifica sete formas de desperdício em um sistema de produção:

- Superprodução: as perdas pela produção de um produto além das necessidades de consumo real do processo subsequente ou do cliente. Esta categoria é identificada como a maior fonte de desperdício pois gera todos os outros seis tipos de desperdício;
- Espera: inclui o tempo de espera de operadores decorrente de ciclos puramente mecânicos, ruptura de peças, quebra de máquinas, falhas nas ferramentas, etc;
- Transporte: o transporte é uma atividade que em geral não agrega valor ao produto, podendo em alguns casos ser eliminado ou otimizado;
- Processos extras: etapas desnecessárias do processo produtivo podem ser descartadas, já que não agregam valor algum ao produto;
- Estoque: os estoques representam custos financeiros que devem ser minimizados. No sistema puxado, os estoques são mantidos nos níveis mínimos que garantam seu funcionamento;
- Movimentação: estas perdas estão relacionadas às movimentações desnecessárias de operadores que não agregam valor algum ao produto ou processo;
- Defeituosos: a produção de materiais defeituosos acarreta perdas de matéria-prima, mão-de-obra, tempo de produção, movimentação destes produtos, possíveis esperas no posto que utilizaria esta peça devido à ruptura do produto, entre outros.

Womack e Jones (2006) atribuem o sucesso competitivo do Sistema Toyota de Produção ao seu foco nos processos centrais. As atividades estão focadas na criação de valor, buscando sobretudo a eliminação dos desperdícios. Conforme mencionado anteriormente, são estes elementos que caracterizam a produção enxuta.

2.2 Mapeamento do Fluxo de Valor

A identificação da cadeia de valor é mencionada na seção anterior como sendo um dos princípios da produção enxuta. A ferramenta que permite esta identificação é o mapeamento do fluxo de valor, que será descrito nesta seção.

O mapeamento do fluxo de valor é a representação de todas as etapas essenciais do processo de transformação do material. Esta ferramenta permite a identificação visual do fluxo de materiais e de informação, a partir do pedido do cliente até o recebimento do produto pelo mesmo.

Além do caminho percorrido pelo produto, é necessário coletar uma série de informações complementares como: tempos de *setup*, tempos de operação, tempos de espera ou níveis médios de estoque, número de funcionários em cada posto, entre outros. A idéia é que seja possível identificar as atividades que agregam valor e as que não o agregam, facilitando a identificação de pontos de melhoria e a eliminação de desperdícios.

Rother e Shook (2003) mostram ainda algumas maneiras como esta ferramenta pode e deve ser utilizada: ferramenta de comunicação, de planejamento de negócios ou de gerenciamento de mudanças. Algumas vantagens da utilização desta ferramenta são apresentadas a seguir:

- Ajuda a visualização do processo como um todo e não apenas de etapas individuais;
- Permite a identificação de desperdícios e suas causas;
- Favorece a tomada de decisão em relação ao fluxo;
- Facilita a implementação de um sistema de Produção Enxuta, interligando os diferentes processos existentes;
- É uma ferramenta visual e qualitativa que descreve o caminho percorrido por materiais e informações;
- Apresenta a relação entre o fluxo de materiais e o de informação.

Rother e Shook (2003) enfatizam que as atividades indicadas como atividades que não agregam valor devem ser eliminadas, podendo utilizar ferramentas de produção enxuta para

tal fim. Assim, o mapeamento do fluxo de valor é apresentado como uma ferramenta suporte que poderá servir de base para a implementação de um sistema de produção enxuto. Para a utilização desta ferramenta, diferentes etapas são apresentadas.

Primeiramente, é necessário conhecer as expectativas do cliente em relação ao produto acabado. As atividades serão classificadas em atividades que agregam valor e atividades que não agregam, de acordo com o que o cliente considera “valor”.

Em seguida, é necessário definir um produto ou uma família de produto que será mapeado. O fluxo de valor atual deve ser mapeado de acordo com as informações e dados reais coletados para o produto escolhido. A partir do fluxo atual, é possível definir o mapa do fluxo de valor do estado futuro, mostrando uma situação otimizada com um fluxo enxuto, após a eliminação dos desperdícios. Assim, o fluxo futuro deve representar as atividades pelas quais o cliente está disposto a pagar, ou seja, as atividades que acrescentam valor ao seu produto, sob o seu ponto de vista.

Finalmente, um plano de ação deve ser definido, mostrando como será possível transformar o fluxo de valor atual no fluxo de valor futuro identificado. Segundo Rother e Shook (2003), este plano de ação pode conter diversas ferramentas de produção enxuta, a fim de eliminar os desperdícios, desenvolvendo um fluxo enxuto de produção.

2.3 Kanban

2.3.1 Noções Gerais

“*Just-in-time*” é o sistema desenvolvido por Ohno na Toyota para coordenar o fluxo de peças em toda a cadeia produtiva, através de um sistema de produção puxada, sendo um dos pilares da produção enxuta. Uma das ferramentas fundamentais deste sistema é o “*Kanban*”, termo que significa “sinal” ou “cartão” em japonês. Assim, Louis (1997) define o *kanban* como o método operacional pelo qual o *just-in-time* é utilizado e gerenciado.

Womack e Jones (1992) caracterizam o *kanban* como um sistema na qual a produção em determinado posto é limitada pela etapa subsequente, devendo produzir apenas a quantidade certa para suprir a necessidade imediata do posto seguinte. O fluxo é feito através de *containers*, contendo as peças que serão transportadas à próxima etapa. Uma vez esvaziado, o *container* deve ser retornado ao posto anterior para que as peças possam ser novamente produzidas e repostas. Os cartões *kanban* são fixados aos *containers* e funcionam

como uma transmissão de informação. Estes cartões sinalizam o consumo das peças e informam ao posto anterior em qual quantidade e em que momento as peças devem ser produzidas novamente para repor as que foram consumidas. Para facilitar essa identificação, utiliza-se um quadro *kanban* que comporta os cartões correspondentes aos *containers* retirados e indica a sequência na qual cada peça deve ser produzida.

O sistema de produção puxada é muito similar ao existente em um supermercado, onde os produtos são repostos conforme são retirados das prateleiras pelos clientes. É um sistema de reposição puxado pela demanda real dos clientes.

Considerando agora uma fábrica, o *kanban* atua como um sistema de informação que integra toda a cadeia produtiva, conectando e sincronizando todos os processos de acordo com a demanda e consumo do cliente.

Louis (1997) apresenta algumas regras fundamentais para o sucesso do sistema *kanban*:

- Nenhuma peça defeituosa deve ser enviada ao posto subsequente. O controle de qualidade deve ser feito a cada etapa, antes de colocar as peças no *container*;
- Os operadores do posto subsequente devem ser responsáveis pela obtenção das peças necessárias em seus postos;
- Nenhum *container* é produzido sem que haja um cartão *kanban*;
- Em cada posto a quantidade produzida deve corresponder exatamente ao que foi retirado pelo posto subsequente, especificado no cartão *kanban*;
- O processo produtivo deve ser padronizado e estável.

Monden (1984) apresenta também cinco regras básicas utilizadas, particularmente pela Toyota, para atingir a eficiência esperada com o sistema *kanban*. Assim como Louis (1997), o autor realça a importância de não enviar peças defeituosas ao posto subsequente e de produzir apenas o necessário para repor o que foi retirado. Em contrapartida, Monden (1994) define algumas outras regras indispensáveis ao sucesso deste método. São elas:

- O posto subsequente deve retirar somente a quantidade necessária de cada artigo e somente no momento em que será utilizado;

- O número de cartões *kanban* no sistema deve ser minimizado, no contexto de melhorias contínuas que será detalhado nas próximas seções;
- O sistema *kanban* deve ser auto-ajustável, ou seja, deve ser capaz de absorver pequenas variações na demanda. Isto é possível pelo próprio sistema de produção puxado pela demanda, onde o que for retirado será repost.

Com base nos princípios discutidos anteriormente, Nakhla (2006) distingue dois tipos principais de *kanban*, de acordo com a função:

- *Kanban* de produção, que equivale à ficha de identificação do produto e de instrução da operação a ser efetuada;
- *Kanban* de movimentação do produto e de transporte do mesmo a outro posto ou zona de estocagem.

Assim, o autor define o *kanban* como sendo uma ordem de fabricação, que permite regular ritmo de da produção em função da velocidade de consumo das peças pelo posto cliente (interno ou externo). Retomando uma das regras básicas apresentadas por Monden (1984), Nakhla (2006) argumenta que limitando o número de *kanbans* no sistema , é possível eliminar desperdícios provenientes da superprodução e manter os estoques a um nível mínimo.

Nakhla (2006) caracteriza o *kanban* como uma ferramenta de seqüenciamento e priorização da produção, associada ao *just-in-time*. A idéia é criar um sistema de comunicação simples, facilitando a circulação de produtos e de informação entre um posto e outro. Este sistema deve ser facilmente controlável e flexível em relação à variação da demanda do posto subsequente. A **Figura 2.1** mostra o fluxo de informação e de produtos entre diversos postos de trabalho.

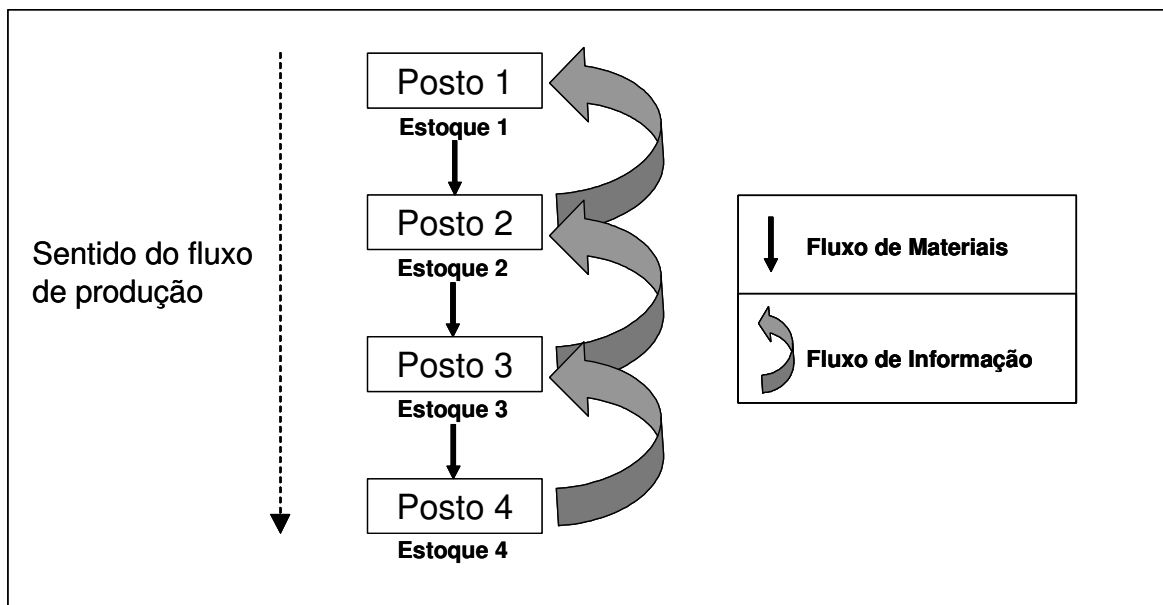


Figura 2.1 : Fluxo de informações e de materiais no sistema *Kanban*

Quando se entende mais profundamente o sistema *kanban*, pode-se também compreender o comentário de Monden (1984, p.75): “A função do Sistema *Kanban* não é unicamente a de controlar o nível de produção. Sua função primordial é a de estimular idéias que eliminem perdas e aumentem a produtividade.” A **Figura 2.2** indica como este autor relaciona o sistema *kanban* à melhoria das atividades.

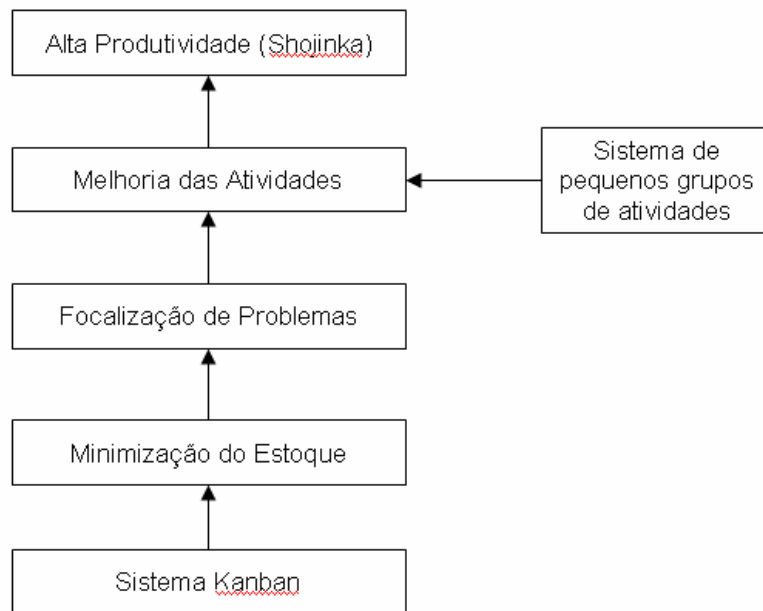


Figura 2.2 : Relação entre o Sistema *Kanban* e as Melhorias das Atividades

(MONDEN, 1984, p. 77)

2.3.2 Determinação do Número de *Kanbans*

A quantidade de cartões *kanban* em cada estação será importante para o bom funcionamento do sistema. Naklha (2006) argumenta que uma quantidade elevada de cartões permite reduzir a ocorrência de faltas de produtos, mas acarreta níveis de estoque elevados. Uma quantidade muito reduzida de cartões faz com que os níveis de estoque sejam também limitados, mas aumenta a possibilidade de rupturas.

É importante ressaltar porém, que Monden (1984) considera que uma das regras básicas para o sucesso do sistema *kanban* é a redução contínua do número de cartões, tentando sempre minimizá-lo. “The productivity press development team” (2002) completa esta idéia apontando que o objetivo conceitual final deste sistema é o “zero *kanban*”, ou seja, a eliminação total do estoque intermediário. Deste modo, o cliente passa a ser o sinal para um fluxo puramente contínuo.

Peinado e Graeml (2007) assinalam que a implementação de um sistema *kanban* deve ser iniciada pelo cálculo do número de cartões necessários no sistema. Para isso, deve-se determinar primeiramente o tipo de *container* e a quantidade de peça que será colocada em cada um. Esta determinação é feita na prática, de acordo com variáveis como a velocidade de

consumo, características de peso, tamanho e forma, e outras restrições particulares a cada setor ou processo.

Os autores ressaltam que para um mesmo item, o *container* deve ser o mesmo, isto é, deve haver sempre o mesmo tamanho e comportar sempre a mesma quantidade de peças. Conhecendo o tamanho do *container*, o próximo passo é o cálculo do número de cartões no sistema, dependendo da existência ou não de *setups*:

- **Cálculo sem *setup*:** o primeiro caso ocorre quando a máquina produz exclusivamente um artigo, sendo o tempo de *setup* inexistente e então desconsiderado no cálculo:

$$n = \frac{D \times T}{Q} + 1 + \frac{S}{Q}$$

Onde:

Q = quantidade de peças por *container*;

n = número de *containers*;

D = demanda;

T = tempo de ressuprimento (*lead time*);

S = estoque de segurança.

- **Cálculo com *setup*:** no segundo caso, a mesma máquina produz diversos tipos de peças, sendo o *setup* um parâmetro importante na determinação do número de cartões:

$$n = \frac{L}{Q} + \frac{S}{Q} + \frac{D \times T}{Q} + 1$$

Onde:

Q = quantidade de peças por container;

n = número de *containers*;

L = lote mínimo de produção;

D = demanda;

T = tempo de ressuprimento (*lead time*);

S = estoque de segurança.

No segundo caso, com a produção de diversos produtos pela mesma máquina, Peinado e Graeml (2007) apresentam um desdobramento da fórmula em tipos de *kanban*, definidos por cores, para facilitar a identificação de prioridade e o momento de iniciar a produção de certo produto:

- Faixa vermelha (estoque normal): é calculado como sendo a demanda durante o tempo de ciclo: $\frac{D \times T}{Q} + 1$;
- Faixa amarela (estoque de segurança): é calculado em função do estoque de segurança desejado: $\frac{S}{Q}$;
- Faixa verde (estoque em função dos *setups*) : consiste no número mínimo de *kanbans* a serem produzidos em seguida, antes de mudar a produção. Esse *kanban* é calculado em função do tempo de *setup*, conforme apresentado pelas fórmula a seguir: $\frac{L}{Q}$.

Os cartões são colocados em um quadro *kanban*, na medida em que os *containers* são consumidos. Primeiramente os cartões preenchem os espaços do quadro que estão em verde, em seguida os em amarelo e por último os em vermelho. Assim, o seqüenciamento da produção e a definição de prioridades são obtidos através do quadro: a cor verde indica que ainda há estoque suficiente e que, portanto, a produção não precisa ser iniciada, o amarelo indica um sinal de alerta de que a produção pode ser iniciada e o vermelho indica urgência na produção, devendo esta começar imediatamente. A **Figura 2.3** mostra um exemplo de quadro *kanban* que utiliza o sistema de prioridades descrito.

Produto A	Produto B	Produto C	Produto D	Produto E	Produto F
Cartão kanban		Cartão kanban	Cartão kanban	Cartão kanban	Cartão kanban
Cartão kanban		Cartão kanban	Cartão kanban	Cartão kanban	Cartão kanban
Cartão kanban		Cartão kanban			
Cartão kanban		Cartão kanban			
		Cartão kanban			
		Cartão kanban			

Figura 2.3 : Exemplo de quadro *kanban*

Peinado e Graeml (2007) apresentam ainda algumas regras importantes na utilização do quadro *kanban*. Primeiramente, a produção de qualquer artigo só é autorizada se o cartão *kanban* estiver disponível no quadro. Se o quadro estiver vazio, nada deve ser produzido e outras atividades devem ser realizadas durante este período, como limpeza, manutenção preventiva, treinamento, entre outros. Isto envolve uma mudança de mentalidade, já que na produção empurrada o lema é produzir sempre, e na produção puxada é produzir somente o necessário.

Outra idéia importante é de investigar os artigos que sempre aparecem como críticos no quadro e os que nunca aparecem. Isto pode ser gerado por problemas no cálculo do número de cartões. Erros deste tipo podem gerar rupturas de produtos nos postos subseqüentes ou excesso de estoque.

“The productivity press development team” (2002) argumenta que na produção enxuta, encontrar meios de otimizar o sistema de produção minimizando o número de *kanbans* necessários é mais importante que o próprio cálculo inicial. Isto faz parte do processo de melhoria contínua, que será detalhado na próxima seção. Para minimizar o número de cartões, a produção em pequenos lotes é fundamental, e ferramentas do tipo SMED (Single Minute Exchange of Dies), TPM (Total Productive Maintenance) e 5S são também importantes para atingir esta otimização.

2.3.3 Melhorando com o *Kanban*

“The Productivity Press Development Team” (2002) apresenta uma análise interessante sobre como a implementação do sistema *kanban* pode revelar problemas e anormalidades ao longo da cadeia produtiva. Alguns dos problemas que serão rapidamente identificados são: longos tempos de *setup*, superprodução e sub-produção.

Além disso, o número de *kanbans* no sistema está diretamente relacionado ao estoque. Assim, reduzindo o número de *kanbans*, a quantidade em estoque também será minimizada. Por este motivo, o mais importante não é a quantidade inicial de *kanbans*, mas sim a sua redução ao longo do tempo. Assim, os supervisores devem ter a liberdade de implementar o sistema *kanban* com a quantidade de cartões que sentirem confortáveis, reduzindo-os um a um até atingir o mínimo possível.

Através deste procedimento, é possível identificar e agir sobre causas dos problemas, possibilitando, por exemplo, a eliminação do estoque de segurança. Os autores ressaltam que esta mudança no número de *kanbans* para melhoria do processo não tem nenhuma relação com o recálculo deste número no caso de mudança na demanda. Conforme dito anteriormente, o sistema *kanban* deve absorver automaticamente pequenas variações na demanda. Em contrapartida, no caso de mudanças significativas na demanda, o cálculo do número de *kanbans* deve ser refeito.

A idéia de reduzir o número de *kanbans* um a um tem a finalidade de identificar problemas na cadeia produtiva e de determinar o estoque mínimo necessário em cada etapa para o bom funcionamento do sistema. Este é considerado um sistema de tentativas e erros, que deve ser trabalhado conjuntamente pelos membros da equipe.

A cada *kanban* removido, é possível que uma área de melhoria seja identificada. Se isso ocorrer, é necessário que os esforços estejam voltados para a otimização deste processo. Uma vez que o problema desaparece, outro *kanban* deve ser retirado e o ciclo recomeça. Progressivamente, os pequenos desperdícios em toda a cadeia serão eliminados e um grande aumento no ritmo e no desempenho serão visivelmente percebidos.

O objetivo final é o “zero *kanban*”. Este é um estado ideal bastante difícil de ser alcançado. Porém, o importante é que se possa chegar o mais próximo possível deste objetivo,

através da redução gradativa do número de *kanbans* e da implementação de pequenas melhorias a cada problema encontrado.

Em suma, os benefícios obtidos através da redução do número de *kanbans* são:

- Exposição de problemas segundo uma prioridade;
- Redução do estoque de segurança;
- Incentivo para realização de atividades de melhoria;
- Otimização do ritmo e do desempenho da produção;
- Foco na análise dos problemas mais importantes.

Além disso, o sistema *kanban* deve ser considerado um sistema de controle visual. Quando um processo se torna visível, passa a ser mais fácil identificar e acompanhar possíveis melhorias. “The Productivity Presse Development Team” (2002) mostra que o 5S, que será descrito ainda neste capítulo, é o primeiro passo para a criação de uma fábrica limpa e visual. O fluxo em pequenos lotes é o próximo passo na busca por um sistema completamente visual. Finalmente, o sistema *kanban* eleva este conceito a um patamar mais refinado.

O sistema *kanban* proporciona um fluxo visual de informações. Este controle visual é importante para manter um bom fluxo de produção do cliente ao seu fornecedor direto, sinalizando anormalidades no momento em que ocorrem.

São apresentadas cinco etapas para a criação do controle visual no sistema *kanban*:

- Determinar claramente a região na qual os produtos devem ser estocados entre processos;
- Colocar lâmpadas e/ou alarmes para identificar quando a linha está parada por defeitos ou por problemas na máquina;
- Colocar uma identificação na célula de manufatura ou linha de produção para indicar o que está sendo produzido, o status da preparação, etc;
- Dispor os *kanbans* de forma a facilitar a visualização do estoque existente, do tempo de ciclo e dos procedimentos de produção;

- Determinar indicadores visuais na área de estocagem para que os operadores possam rapidamente identificar quando cada produto deve ser repostado (quadro *kanban*).

Criando um sistema visual, o controle e a otimização se tornam mais simples, graduais e constantes, possibilitando a melhoria contínua dos processos.

2.4 Troca Rápida de Ferramentas (SMED)

SMED significa mudança de ferramentas em menos de 10 minutos (*Single Minute* corresponde a um único algarismo). A idéia de mudança rápida da produção foi definida primeiramente por Shigeo Shingo, durante estudos em diversas fábricas de montagem de automóveis onde ele identificou uma grande dificuldade das equipes em eliminar os gargalos da produção.

Shingo (1985) identifica que uma razão visível para esta dificuldade era o enorme tempo despendido na mudança de série de produção. Para atender às crescentes exigências dos clientes e a conseqüente necessidade de diversificação, era necessário realizar diversas trocas de ferramentas e com uma freqüência bastante alta. Porém, Shingo acreditava que deveria ser possível realizá-las no menor tempo possível, evitando perdas de produtividade.

Conforme mencionado, um dos grandes avanços da produção enxuta é a flexibilidade da fabricação para produzir em pequenos lotes. As quantidades de cada produto passaram a ser menores e as operações de troca bem mais freqüentes. Segundo Shingo (1985), a troca rápida de ferramentas seria, então, um avanço importante na otimização deste processo e na implementação do *Lean Manufacturing*, ajudando as empresas a eliminar gargalos e aumentar ainda mais a sua flexibilidade e produtividade.

É importante ressaltar o sentido geral de mudança de produção. Lasnier apud Nakhla (2006) define o tempo de troca de produção como sendo o tempo despendido entre a última boa peça de um lote e a primeira boa peça do próximo lote. Assim, este período não se refere apenas ao tempo de *setup* da máquina mas ao período em que esta não produz.

Na implementação do SMED, Shingo (1985) identifica algumas etapas conceituais e as técnicas correspondentes. Estas etapas estão ligadas a duas definições principais: o *setup* interno e o *setup* externo. Entende-se por internas as atividades que exigem que a máquina esteja parada para serem realizadas e externas as que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento. A **Figura 2.4** esquematiza estes estágios, que serão brevemente descritos.

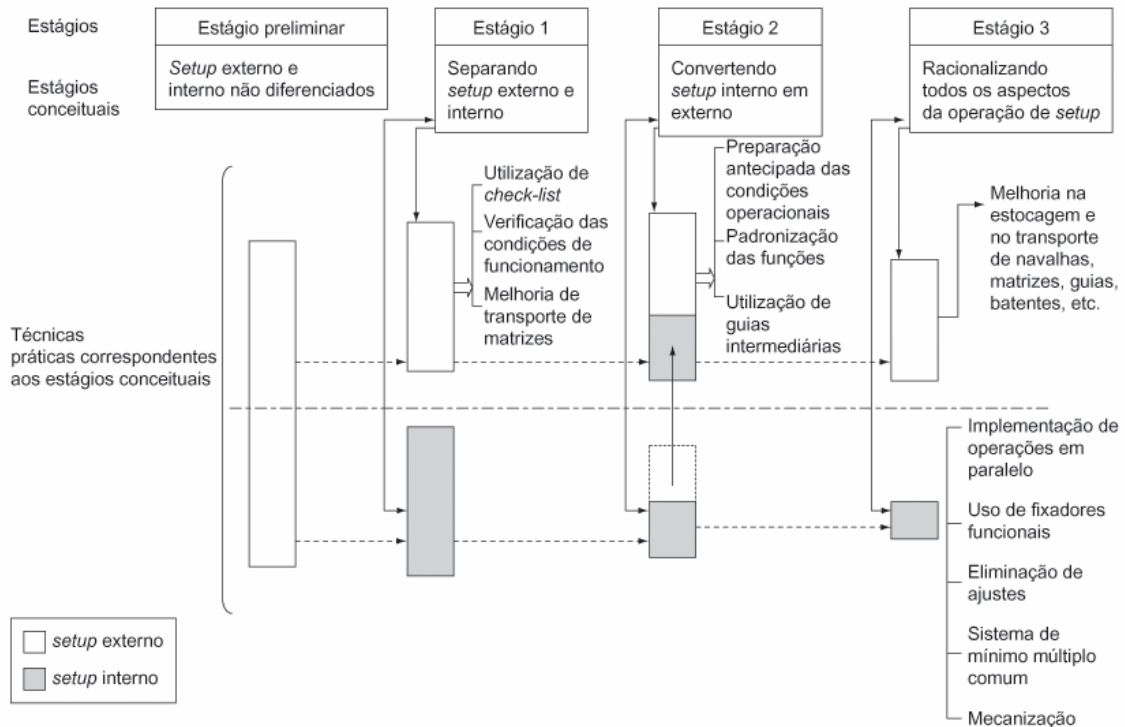


Figura 2.4 : Estágios conceituais e técnicas de implementação do SMED

(SHINGO, 1985, p. 93)

- Estágio preliminar: esta etapa inicial visa identificar os tempos referentes a todas as atividades do *setup*. Para obtenção destes dados, Shingo (1985) indica ferramentas simples como o uso de cronômetros e filmadoras, entrevistas com os operadores, estudo de métodos, entre outros. A idéia é ter o conhecimento das atividades envolvidas e o tempo despendido em cada uma delas;
- Estágio 1: identificar e separar *setup* interno e externo. Esta fase tem como objetivo classificar as atividades realizadas durante o *setup* como internas ou externas. Através das definições de atividades internas e externas fica claro que o mais importante para o sucesso do SMED é minimizar o tempo de *setup* interno, mesmo que aumentando o tempo das atividades externas. Algumas técnicas são associadas a esta etapa:
 - Utilização de check-list: neste procedimento, todas as peças, ferramentas e operações envolvidas no *setup* são listadas. Além disso, parâmetros como temperatura e pressão também são adicionados a esta lista. Esta lista servirá de suporte à implementação do SMED e por isso deve ser clara, simples e completa, para facilitar o entendimento de todos os envolvidos no processo;

- Verificação das condições de funcionamento: este é um controle visual bastante eficaz, que visa identificar antecipadamente se todas as ferramentas e peças necessárias a cada operação estão em boas condições e disponíveis;
 - Melhoria de transporte de matrizes: as ferramentas e peças necessárias ao *setup* devem ser mantidas em uma zona de estocagem pré-definida, preferencialmente próxima ao equipamento. Elas devem ser trazidas ao posto para a execução do *setup* e enviadas novamente à zona de estocagem após o início da produção. É importante que esta movimentação faça parte das atividades externas do *setup*.
- Estágio 2: converter *setup* interno em externo. Uma vez identificadas nos estágios anteriores, as atividades de *setup* interno devem ser minimizadas, buscando transformá-las em *setup* externo. Para isso, é necessário buscar novas soluções, diferentes das existentes. Em alguns casos pode existir a necessidade de investimentos, mas em muitos casos apenas a mudança de metodologia ou de utilização de ferramentas possibilita a conversão do *setup* interno em externo. Algumas técnicas são também sugeridas para esta etapa:
- Preparação antecipada das condições operacionais: simples ajustes feitos antecipadamente podem diminuir o tempo de *setup* interno. Um exemplo simples é o fato de deixar as ferramentas preparadas e em posição própria para serem somente encaixadas na máquina no momento em que esta parar. Frações de tempo como esta pode reduzir de maneira importante o tempo final de *setup* interno;
 - Padronização das funções: manter padrões de parâmetros e ferramentas sempre que possível também é um procedimento importante para minimizar o *setup* interno;
 - Utilização de guias intermediárias.
- Estágio 3: melhoria sistemática de cada operação básica do *setup* interno e externo. Esta etapa é uma etapa importante na filosofia da melhoria continua presente no *Lean Manufacturing*. A idéia é que se possa sempre otimizar o tempo despendido tanto nas atividades de *setup* interno quanto nas externas. As técnicas apresentadas nesta etapa estão divididas entre o *setup* interno e o externo, conforme mostrado na **Figura 2.4**.

- As melhorias no *setup* externo referem-se principalmente às melhorias no transporte e estocagem de peças, ferramentas e documentos;
- No caso do *setup* interno, diversas técnicas são apresentadas como: a mecanização, a eliminação de ajustes, a implementação de operações em paralelo para dividir e sincronizar as atividades entre dois operadores reduzindo o tempo total, entre outros.

Um exemplo que facilita a compreensão deste processo é a parada nos boxes durante as corridas de Fórmula 1. Algumas atividades são realizadas antes do carro parar nos boxes, a fim de reduzir o tempo em que ficará fora da pista. Busca-se sempre otimizar o tempo de parada, tentando transformar atividades internas em externas.

Em suma, os estágios 1 e 2 não reduzem o tempo total de *setup*, apenas separam as atividades e possibilitam a transferência do tempo de *setup* interno ao externo. No estágio 3, em contrapartida, a ideia é que exista realmente uma redução no tempo total.

2.5 5S

A ferramenta 5S foi elaborada para organizar a área de trabalho de maneira padronizada. Segundo Nakhla (2006), este método serve de complemento ao método SMED e tem como objetivo manter os locais de trabalho limpos, práticos e seguros.

O termo “5S” está relacionado às iniciais de termos japoneses que caracterizam esta prática:

- **Seiri:** em português significa “senso de utilidade” e representa a triagem e a eliminação de tudo aquilo que não é utilizado num determinado ambiente de trabalho. Isto facilita a organização do posto de trabalho e a otimização do espaço utilizado;
- **Seiton:** ou “senso de organização” indica a importância da organização do ambiente de trabalho, a fim de reduzir o desperdício de tempo e esforços na procura de ferramentas, por exemplo. Assim, cada ferramenta ou material deve ter uma localização determinada e bem indicada, e uma vez utilizadas devem ser recolocadas nos devidos lugares. Isto facilita, por exemplo, a implementação do SMED, já que as ferramentas utilizadas na troca de máquina estão facilmente disponíveis e organizadas;

- **Seiso:** ou “senso de limpeza” mostra a necessidade de manter o local de trabalho limpo. Num ambiente visualmente limpo, é possível detectar problemas mais facilmente e com mais rapidez. Designa-se primeiramente o que deve ser limpo, com qual frequência, como fazê-lo e quem é a pessoa responsável;
- **Seiketsu:** ou “senso de padronização” refere-se à formalização das regras e a definição de padrões referentes aos 3S’s anteriores. A idéia é de incentivar e estimular o cumprimento das mudanças propostas, facilitando o entendimento e apropriação dos métodos por parte dos operadores;
- **Shitsuke:** ou “senso de autodisciplina” está relacionado ao acompanhamento e manutenção dos padrões e regras definidos pelos 4S’s anteriores. Assim, pode-se definir indicadores para analisar a situação do posto de trabalho com uma frequência pré-definida. Estes indicadores podem medir, por exemplo, a disponibilidade de documentos e ferramentas no posto de trabalho, a utilização dos locais pré-determinados das ferramentas, a existência de um plano de limpeza e a sua utilização, entre outros. A partir deste dispositivo é possível avaliar as mudanças, melhorando a comunicação e valorizando os resultados obtidos.

Nakhla (2006) sugere três etapas principais para a implementação do método 5S. Primeiramente, é necessário que seja dada uma formação tanto aos engenheiros e pessoas de postos gerenciais, quanto aos operadores de máquinas e outros funcionários que trabalham diretamente na fábrica. Em seguida, a implementação efetiva pode começar em apenas um setor teste, sendo ele um posto de trabalho, uma célula de produção ou até mesmo um atelier inteiro. Enfim, é necessário definir os indicadores e o acompanhamento do sistema. Os resultados devem ser analisados, comparados e comunicados a todas as equipes, a fim de que todos possam estar engajados no progresso contínuo obtido pelo 5S. Auditorias pontuais podem ser realizadas pelo grupo responsável pela implementação e acompanhamento.

2.6 Melhoria Contínua (Kaizen)

Por fim, outra importante ferramenta estruturada pela Toyota em seu sistema de produção é o *kaizen*, palavra japonesa que faz referência à melhoria contínua e gradual. O *kaizen* representa um dos princípios importantes da Produção Enxuta.

A idéia por trás desta palavra é que não se passe nenhum dia sem que uma melhoria seja implementada. Funcionários de todos os níveis estão envolvidos e devem contribuir com melhorias graduais que acarretem numa melhor performance do seu trabalho e que produzam, conseqüentemente, um impacto positivo na empresa como um todo.

Nakhla ressalta que, para a implementação efetiva do *kaizen*, é necessário que seja dada uma grande autonomia a todos os funcionários, principalmente aos operadores. O autor apresenta ainda uma decomposição deste método em três níveis principais:

- O *kaizen* e os gestores: as melhorias se concentram em questões estratégicas e logísticas, com maior ênfase nos processos e na qualidade;
- O *kaizen* e os equipamentos: as sugestões de melhoria referem-se principalmente ao layout e disposição dos equipamentos, buscando melhorar o fluxo, aumentando a eficiência e reduzindo estoques;
- O *kaizen* e os funcionários da produção: concentra-se na resolução de problemas em pequenos grupos de trabalho, através principalmente de sugestões de diversos tipos, desde melhorar o ambiente de trabalho até idéias de novos produtos.

Monden (1984) também apresenta o sistema de sugestão como uma das ferramentas da melhoria contínua. O autor explica que o objetivo desta ferramenta não é apenas a obtenção de novas idéias, mas também mostrar ao funcionário que ele é reconhecido pela empresa e pelo seu superior, criando uma maior identificação e lealdade em relação à empresa. Ele mostra que o sistema de sugestões foi introduzido na Toyota em 1951, e as sugestões de melhorias podem fazer referência a diversos departamentos, como por exemplo:

- Melhorias nos métodos;
- Economias em materiais e suprimentos;
- Melhorias no departamento de engenharia e escritório;
- Melhorias no ambiente de trabalho para aumentar a segurança e evitar acidentes;
- Melhorias da eficiência e da qualidade do produto final.

As melhores sugestões são aquelas que visam um benefício significativo em relação ao custo de implementação. Trata-se de uma importante análise de custo/benefício, de onde pode-se obter, com freqüência, boas idéias à custos relativamente baixos.

3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é introduzir os conceitos de produção enxuta buscando a eliminação dos desperdícios e o aumento da produtividade. Para isso, a área de fabricação de componentes responsável pela produção das lonas de topo foi escolhida para a implementação do piloto. As lonas de topo são produzidas em 3 cortadeiras e utilizadas nas 16 máquinas de acabamento, envolvendo um total de 80 operadores.

Neste capítulo, as características do processo produtivo e do fluxo de produção antes da implementação do sistema *kanban* serão detalhados, proporcionando ao leitor um entendimento mais profundo da situação inicial deste projeto.

Primeiramente, uma visão geral dos processos produtivos dentro da fábrica de Lexington será apresentada, envolvendo máquinas, operadores e fluxos. O mapa do fluxo de valor será apresentado, seguido de um detalhamento de cada área de produção que compõe a fábrica.

Em seguida, a área da fábrica na qual o projeto piloto foi implementado será apresentada, iniciando com a descrição do componente, as lonas de topo. As particularidades deste componente e os diferentes tipos de lonas de topo produzidas nas cortadeiras serão apresentados. Posteriormente, as características das cortadeiras serão mostradas, visando ressaltar os aspectos que foram fundamentais no estudo da implementação do sistema *kanban*.

Com uma visão mais detalhada do produto, do processo e dos recursos, o fluxo interno destes produtos também será descrito, revelando ainda algumas particularidades, que foram consideradas no desenvolvimento deste projeto.

3.1 A Fábrica de Lexington

O complexo da Michelin em Lexington, na Carolina do Sul é composto por duas importantes fábricas do grupo: a US5 que produz pneus para carros e caminhonetes e a US7 que produz pneus de grande porte utilizados basicamente em tratores de mineração. Uma informação importante é que a US5 fornece o "rolo mestre" que é utilizado na produção das lonas de topo e das lonas carcaça na US7, processo este que será detalhado posteriormente.

A fábrica US7, onde este projeto foi desenvolvido, é uma empresa nova e moderna; seu primeiro pneu foi produzido em 1998. Atualmente, 350 funcionários trabalham na fábrica.

As dimensões dos pneus produzidos na US7 variam de 51'' a 63'' de diâmetro interno, com pneus de 1,7 a 4,0 m de altura, e de 2,2 a 6,2 t. Para fabricar pneus nestas dimensões, máquinas de grande porte são necessárias e os processos de confecção e montagem dos pneus são bastante lentos. Apesar de uma parte do ciclo de produção ser automatizada, esta fábrica em nada se parece com as fábricas de produção em série de pneus de carro, onde a quantidade de pneus e a velocidade de produção são muito elevadas.

A produção atual está em torno de 52 pneus por dia, o equivalente a 190 t em média. O grande desafio é a expansão da capacidade produtiva da fábrica que vem ocorrendo gradativamente desde 2005 e que deve se estender até o final de 2009. Com os investimentos no aumento da capacidade produtiva, existe uma pressão ainda maior para otimização dos processos, com a redução de custos e aumento da produtividade.

A fábrica funciona 7 dias por semana e 24 horas por dia, em dois turnos de 12 horas: o turno da manhã ("M-shift") vai das 7 às 19 horas e o da noite ("E-shift") das 19 às 7 horas. A maioria das fábricas Michelin na Carolina do Sul trabalha em dois turnos de 12 horas. A Lei americana permite a jornada de trabalho de mais de 8 horas sem pagamento de hora extra, contanto que a carga semanal não ultrapasse 40 horas. Do mesmo modo, as noites e finais de semana também não têm remunerações especiais, a não ser que realmente sejam realizadas como horas-extras.

O funcionamento dos "turnos em alternância", como são conhecidos, é simples e repetitivo. A sequência de jornadas de trabalho e folgas de um trabalhador da fábrica é representada na **Figura 3.1**.

Existem 4 equipes que se revezam conforme mostrado na. Cada equipe trabalha no turno diurno durante duas semanas e depois no turno noturno nas duas semanas seguintes. Os dias de trabalho e de folga são mostrados no esquema.

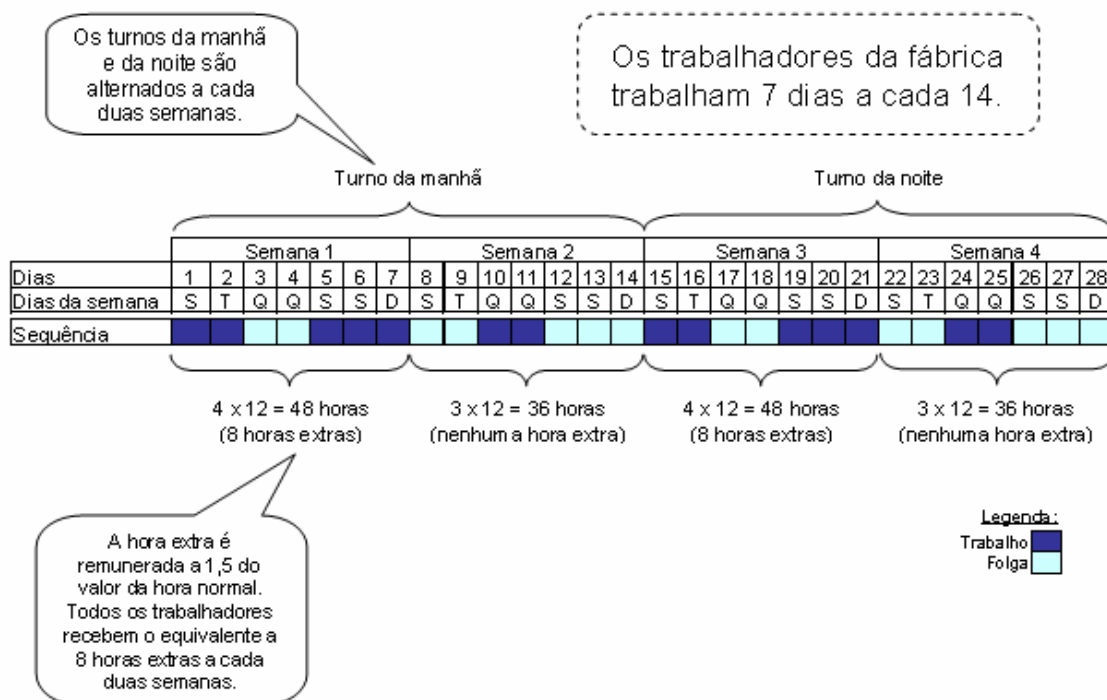


Figura 3.1 : Sequência das jornadas de trabalho

3.1.1 Visão Geral do Processo Produtivo

A fabricação do pneu na fábrica de Lexington é feita em três etapas principais: a fabricação de componentes, a montagem (confecção e acabamento) e a vulcanização. A área de fabricação de componentes produz os componentes que são utilizados na área de montagem do pneu, como a banda de rodagem, as lonas de topo, a lona carcaça, os talões e os flancos.

O esquema mostrado na **Figura 3.2** apresenta de maneira simplificada as etapas existentes na fábrica de Lexington.

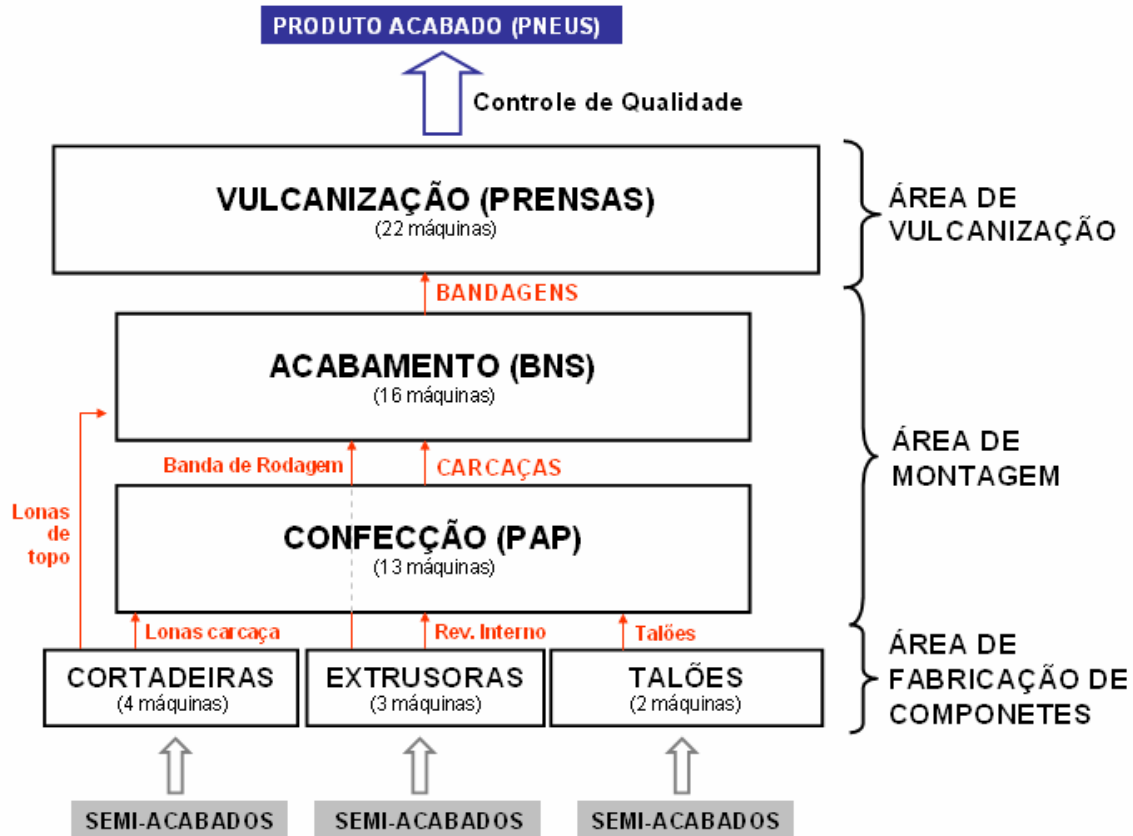


Figura 3.2 : Desenho esquemático do processo produtivo na fábrica de Lexington

Na **Figura 3.3**, o fluxo de valor é detalhado, indicando informações adicionais como a quantidade de máquinas e o número de operadores por turno e por área, os tempos de ciclo, de *setup* e de estoque, e o próprio fluxo dos componentes e dos produtos acabados.

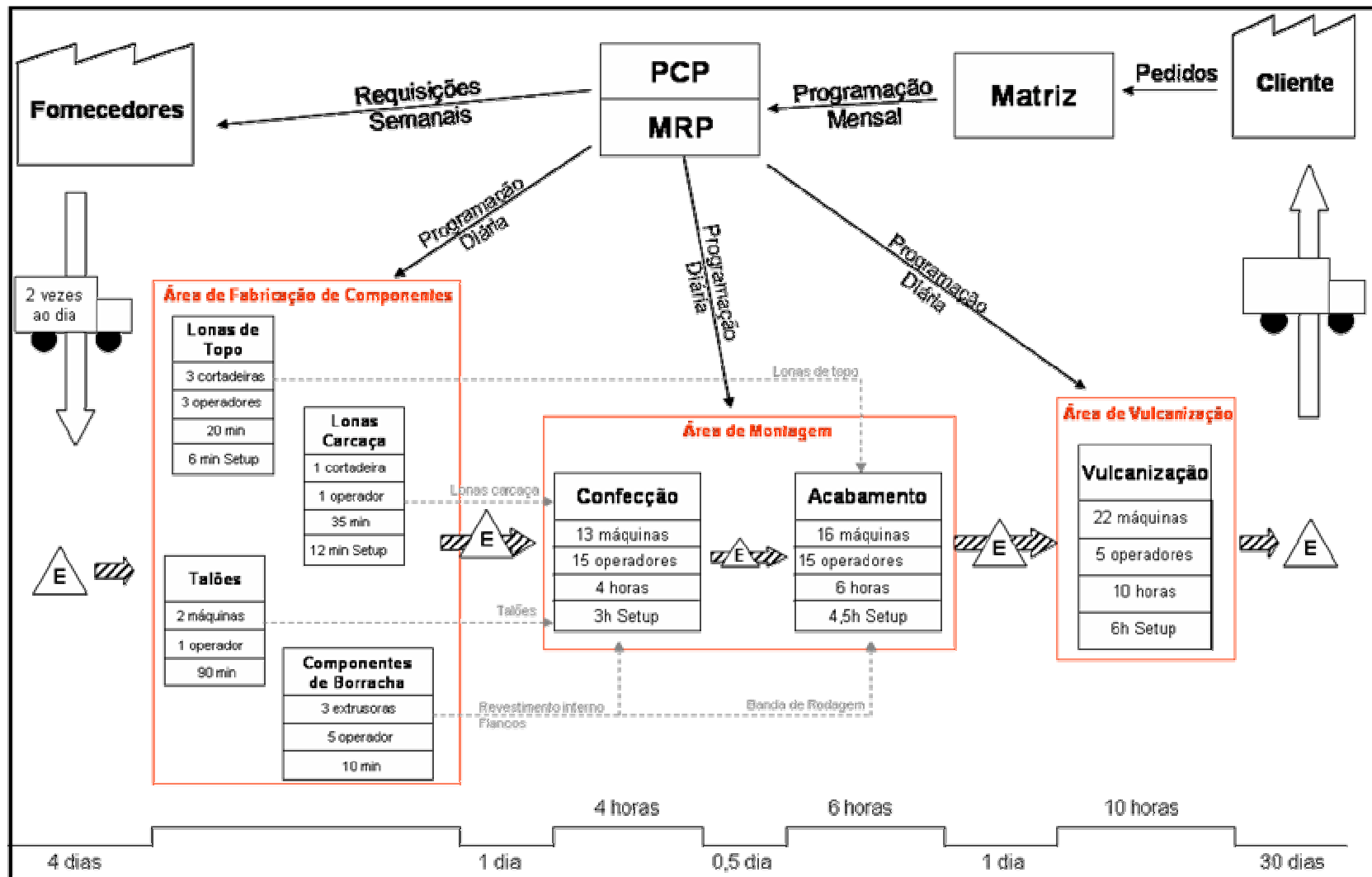


Figura 3.3 : Mapa do Fluxo de Valor da fábrica de Lexington

A seguir, uma breve descrição de cada área e dos produtos produzidos em cada uma delas.

1. **Área de fabricação de componentes:** esta área é fornecedora dos componentes que serão utilizados na fabricação do pneu. Na fábrica de Lexington, ela está dividida em três subáreas principais:
 - a. **Cortadeiras:** as cortadeiras são as máquinas utilizadas na produção das lonas de topo e das lonas carcaça. Para os pneus de mineração e de construção civil, as lonas são compostas por lonas de borracha reforçadas por fios de aço. O produto semi-acabado proveniente da fábrica vizinha, a US5, conhecido como “rolo mestre”, é formado por borracha e fibras de aço. Este material é desenrolado e cortado de acordo com o ângulo pré-definido, que para as lonas carcaça é sempre igual a 90° e para as de topo pode variar de 5° a 33°. Após o corte, as tiras são unidas novamente formando as bobinas (forma como são transportadas as lonas carcaça e as lonas de topo). Em Lexington, existem três cortadeiras de lonas de topo e uma cortadeira de lonas carcaça.
 - b. **Extrusoras:** as três extrusoras produzem os componente compostos somente de borracha, como a banda de rodagem, flancos e o revestimento interno. A matéria-prima é o composto de borracha, proveniente de outra fábrica Michelin na Carolina do Sul, a US2. Na fábrica de Lexington, este composto passa por um processo de extrusão e de dimensionamento, de acordo com parâmetros pré-definidos para cada dimensão de pneu. Devido às altas temperaturas do processo, o material é submetido a um resfriamento ao longo de 30 ou 50 metros, dependendo da máquina.
 - c. **Máquinas para a fabricação dos talões:** as matérias-primas utilizadas nestas máquinas são rolos de borracha dura e fios de aço resistentes. As duas máquinas utilizadas na produção de talões podem ser operadas por apenas um operador, uma vez que possuem ciclos automáticos.
2. **Área de montagem:** esta área representa a área de construção do pneu, sendo os postos de preparação seus principais fornecedores. A área é dividida em duas:

- a. **Confecção:** essas máquinas consistem de um tambor onde a lona carcaça, os talões e outros componentes são colocados para a construção da carcaça. Devido às dimensões especiais produzidas nessa fábrica, pode-se ter uma idéia das dimensões destas máquinas. O processo é bastante manual exigindo que o operador opere a máquina durante todo o ciclo. O ciclo varia de acordo com a dimensão do pneu podendo variar de 2,5 horas para um pneu de 51 polegadas até 5,5 horas para um pneu de 63 polegadas.
 - b. **Acabamento:** a finalidade destas máquinas é a obtenção do “envelope” ou bandagem, que ganhará então a forma do pneu que conhecemos no processo de vulcanização. Para a obtenção da bandagem, a carcaça é colocada nessas máquinas, onde é inflada até obter forma do pneu. Em seguida, as lonas de topo são adicionadas e por fim, a banda de rodagem. O processo também é bastante manual, mas com uma parte significativa automatizada, onde a presença do operador é dispensável. Assim, em geral temos 3 operadores para cada 4 máquinas. O ciclo também é bastante lento, variando de 4 horas para os pneus de 51 polegadas até 8 horas para alguns dos pneus de 63 polegadas. Dentre as 16 máquinas, porém, algumas são mais modernas e este tempo pode ser reduzido em até 40%.
3. **Área de Vulcanização:** a vulcanização ou cozimento consiste na etapa final de produção do pneu. É composta por prensas onde as bandagens provenientes da área de acabamento são colocadas, a fim de adquirirem as características finais dos pneus. Para isso, utiliza-se um molde contendo a forma e as ranhuras definidas para cada tipo de pneu. Para cada tamanho de pneu fabricado, existe uma determinada temperatura, pressão e duração utilizadas no cozimento. Nesta etapa, a duração do processo é ainda maior, variando de 7 a 12 horas de acordo com a dimensão e as características.

Após a vulcanização, o pneu passa por verificações finais, antes de ser mandado para a área de estocagem.

3.1.2 Planejamento da Produção

O planejamento da produção para setor de pneus de mineração e de construção civil na Michelin é bastante centralizado na sede, isto é, o *mix* de produtos a ser produzido é definido pelo grupo e repassado regionalmente às cinco fábricas. Este planejamento é desenvolvido de

acordo com a carteira de pedidos e considerando a capacidade produtiva de cada fábrica. Conforme dito anteriormente, este setor vive um momento no qual a demanda é superior à oferta, ou seja a capacidade produtiva é uma restrição na quantidade de pneus vendidos. Assim, a distribuição da produção das diferentes dimensões é definida pela diretoria do setor, situada em Clermont-Ferrand na França.

Atualmente, são produzidas 9 dimensões na a fábrica de Lexington, porém 3 delas são mais raras e por isso são dificilmente produzidas ao mesmo tempo. Em geral, estas três dimensões são produzidas alternadamente.

O *mix* de produtos para o próximo ano é discutido e determinado ao final do ano em curso, baseados na capacidade produtiva instalada e na demanda dos diferentes tipos de pneus. Esse relatório contém informações sobre a quantidade de pneus de cada dimensão a serem produzidos pela fábrica por mês, durante o próximo ano.

Esta informação representa não apenas o objetivo de vendas a ser atingido, mas também a previsão de vendas que será utilizada na programação da produção.

Esta base é trabalhada pela equipe de Planejamento e Programação da Produção de Lexington, formada por duas pessoas. A equipe é responsável por desdobrar essa informação em semanas e em dias. Esta informação é revisada e disponibilizada na intranet diariamente, e utilizada na determinação da quantidade de materiais semi-acabados a serem produzidos pela área de preparação a cada dia. As previsões de produção são também utilizadas pela própria equipe no planejamento das necessidades de materiais e geração de pedidos aos fornecedores. Conforme mencionado, os principais fornecedores da fábrica são outras fábricas do grupo Michelin.

Com base nestes dados, a equipe é também responsável por programar o que será produzido em cada máquina (confecção, acabamento e vulcanização) e a determinação da data na qual haverá uma mudança nas dimensões dos pneus produzidos. Com as grandes dimensões de pneus e a complexidade das máquinas, a mudança de dimensão nestas máquinas requer de 3 a 6 horas de trabalho da equipe de manutenção nas máquinas de confecção e acabamento, para trocar o tambor e determinar os *setups* da máquina. Para as prensas, esse tempo pode ser ainda maior, podendo chegar a 8 horas. Isso se deve ao fato de que, após a mudança de molde, existe ainda a necessidade de um pré-aquecimento antes da utilização.

A produção das máquinas da área de preparação é definida automaticamente a partir da programação diária da produção. O detalhamento da lista de produção será apresentado posteriormente, pois será importante no entendimento do problema e no encaminhamento do projeto.

3.2 As Lonas de Topo

As lonas de topo, ou lonas de cima, formam a cintura metálica dos pneus radiais, garantindo a rigidez da banda de rodagem e a maior durabilidade do pneu. No caso dos pneus de mineração e construção civil, fabricados em Lexington, estas estruturas são de extrema importância devido às grandes dimensões e à imensa carga que esses pneus devem suportar.

Conforme mencionado, as lonas de topo são constituídas a partir de um “rolo mestre”, mantas de borracha reforçada internamente por finos cabos de aço. Este rolo é produzido na fábrica da Michelin que fabrica pneus de carro, vizinha à fábrica em que o projeto foi realizado, a US5. Os rolos passam pelas cortadeiras onde são cortados em forma de tiras. Estas tiras são reunidas novamente na própria cortadeira, produzindo as lonas de topo em forma de bobinas. O detalhamento do processo de produção e do transporte será apresentado na próxima seção.

Cada pneu fabricado na fábrica de Lexington é formado por uma “cintura metálica” composta por 6 camadas de lonas de topo diferentes entre si. Ou seja, para cada dimensão de pneu existem 6 tipos diferentes de lonas de topo. Estas lonas são agrupadas em 3 grupos, com funções diferentes dentro do pneu. Assim, estas lonas são colocadas duas a duas em três fases diferentes da montagem do pneu.

Para facilitar o entendimento, chamaremos os três grupos de A, B, C, e os 6 tipos diferentes de lonas de topo para cada dimensão de pneu de A1, A2, B1, B2, C1, C2.

Considerando uma mesma dimensão de pneu, o que diferencia os produtos A, B e C são:

- Função dentro de pneu: proteção, sustentação e resistência. Cada grupo de produtos acima possui uma função específica e por isso é colocado em diferentes fases da montagem do pneu;

- Tipo de rolo mestre: existem tipos diferentes de rolo mestre, de acordo com o tipo de fios de aço e de borracha. Para cada função específica, existe também uma característica específica dos fios de aço ou da borracha: mais ou menos resistentes, mais ou menos espessos, mais ou menos flexíveis, entre outros;
- Ângulo de corte: o ângulo de corte também é definido em razão da função de cada componente no pneu, a fim de obter as características necessárias;
- Largura: este parâmetro também varia de acordo com a função desejada., e refere-se ao passo do corte.

Todos esses parâmetros são definidos pelas equipes de engenharia e desenvolvimento de produtos. Todos os pneus são testados com precisão, pois devido às grandes cargas que devem suportar, deve haver uma garantia de qualidade.

Em geral, o que diferencia os dois produtos de um mesmo grupo (A1 e A2, B1 e B2, C1 e C2) são pequenas diferenças na largura, para garantir o bom posicionamento no pneu. O ângulo de corte e o tipo de rolo mestre são os mesmos para os produtos dentro de um mesmo grupo para uma mesma dimensão.

Para dimensões diferentes, existem sempre diferenças na largura e no comprimento das lonas de topo: para pneus maiores, as lonas são mais largas e mais longas. Além disso, os ângulos e tipos de rolos mestres também podem variar. Compreender esta diferenciação e complexidade será importante posteriormente, no entendimento de algumas decisões tomadas na implementação do sistema *kanban*, apresentado no próximo capítulo. A **Tabela 3.1** apresenta um resumo destes parâmetros por tipo de lona e dimensão de pneu:

Tabela 3.1 : Tabela de parâmetros dos diferentes artigos de lonas de topo para cada dimensão de pneu

DIMENSÃO	TIPO DE ROLO MESTRE						ÂNGULO (°)						LARGURA (mm)					
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	A1	A2	B1	B2	C1	C2	A1	A2	B1	B2	C1	C2
1	RM3	RM3	RM4	RM4	RM6	RM6	11	11	26	26	32	32	640	590	780	530	330	290
2	RM1	RM1	RM2	RM2	RM6	RM6	7	7	26	26	32	32	755	695	875	635	425	385
3	RM1	RM1	RM4	RM4	RM6	RM6	7	7	26	26	32	32	795	740	915	665	425	385
4	RM5	RM5	RM2	RM2	RM6	RM6	11	11	26	26	32	32	915	845	1085	775	490	440
5	RM5	RM5	RM2	RM2	RM6	RM6	11	11	26	26	32	32	1035	970	1175	890	610	565
6	RM5	RM5	RM2	RM2	RM6	RM6	11	11	26	26	32	32	1035	970	1185	900	610	565
7	RM5	RM5	RM2	RM2	RM6	RM6	11	11	26	26	32	32	1035	970	1155	890	610	565
8	RM5	RM5	RM2	RM2	RM6	RM6	11	11	26	26	32	32	1075	1010	1185	915	610	565
9	RM5	RM5	RM2	RM2	RM6	RM6	11	11	26	26	32	32	975	840	740	630	555	515

Pela **Tabela 3.1** verifica-se que existe uma grande variedade de lonas de topo. No início deste estudo, questionou-se a possibilidade de reduzir esta variedade, através da padronização dos componentes. Para isso, questionou-se a real necessidade de utilizar 6 tipos de rolos mestres e diferentes ângulos de cortes. Esta padronização traria benefícios importantes na produtividade, já que reduziria nos *setups* necessários.

Apesar disso, não existe a possibilidade de realizar tais mudanças neste momento. As características de cada pneu são desenvolvidas no centro tecnológico da Michelin na França, por uma equipe de engenharia. As diferenças nas características de pneus de dimensões diferentes estão ligadas à sua utilização, como ao solo e à carga que será exposto. Desta maneira, a padronização das lonas de topo exigiriam estudos muito mais aprofundados desta equipe, que não fazem parte do escopo deste projeto.

Uma informação adicional importante que tem grande impacto na produção das lonas de topo é o da validade. Esta restrição é uma medida adotada internamente para garantir a qualidade dos componentes e conseqüentemente dos pneus fabricados.

As lonas de topo devem ser utilizadas na composição do pneu em até 3 dias após a sua fabricação. Passados estes 3 dias, testes de qualidades devem ser realizados, pela equipe de qualidade responsável, para identificar a conformidade do material para utilização nos próximos 2 dias.

No caso de detecção de não conformidade após o terceiro dia ou ao final do quinto dia, o material não pode ser utilizado e deve ser descartado. Em 2007, o número de bobinas descartadas por este motivo girava em torno de 100, aproximadamente 2 bobinas descartadas por semana, representando uma perda aproximada de 50 mil dólares em material.

Esta restrição representa mais uma razão pela qual o estoque em processo deve ser reduzido e controlado.

3.3 O Processo de Produção das Lonas de Topo

As lonas de topo são produzidas a partir dos rolos mestres, cortados nas cortadeiras em forma de tiras, de acordo com o ângulo e a largura (passo do corte) pré-definidos para cada tipo de lona de topo. Estas tiras são reunidas novamente ainda nestas máquinas para produzir as lonas de topo no comprimento definido. A **Figura 3.4** mostra o esquema que representa o processo de corte do rolo mestre e junção das tiras para a produção das lonas de topo.

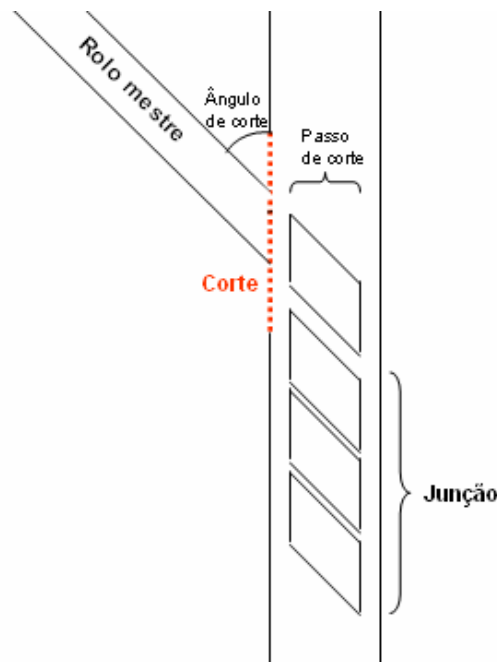


Figura 3.4 : Desenho esquemático do corte dos rolos mestre na produção das lonas de topo

O rolo mestre é colocado em uma das extremidades da cortadeira, de onde é desenrolado. O material desliza sobre a mesa de apoio, através de cintos rolantes. Um mecanismo de corte, acionado apenas no início da operação, realiza os cortes de acordo com o ângulo e a largura referentes ao tipo de lona que está sendo cortada. Os cortes são sucessivos e automáticos, sem que seja necessário o acionamento por parte do operador.

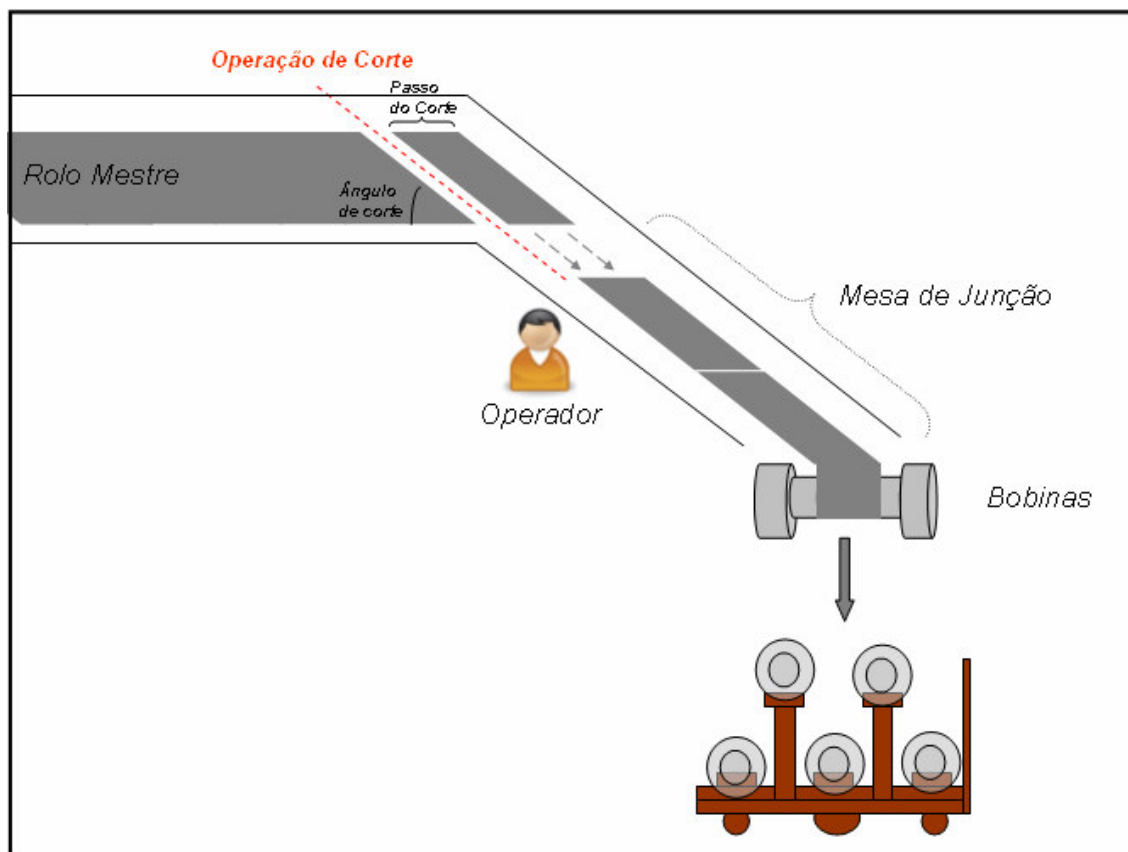


Figura 3.5 : Desenho esquemático da produção das lonas de topo nas cortadeiras

O material cortado desliza novamente, desta vez pela “mesa de junção”, onde a junção será efetuada através de uma ferramenta, acionada pelo operador. A posição do operador da máquina é mostrada na **Figura 3.5**. Antes de acionar a ferramenta, o operador manualmente une as duas partes, colocando-as na posição correta para a união. A junção é feita utilizando-se alta temperatura e pressão.

Assim, a presença do operador na máquina é indispensável em toda a operação, pois enquanto os avanços e cortes automáticos são realizados, o operador é responsável pela junção das partes cortadas. Em cada cortadeira existe um dispositivo que pode ser acionado pelo operador em caso de problema, fazendo com que a máquina pare.

As lonas são assim produzidas e armazenadas em bobinas, semelhantes ao desenho da figura **Figura 3.5**. Uma "manta" de tecido é enrolada juntamente com material de borracha na produção da bobina. Esta “manta” de tecido tem a finalidade de evitar que a borracha fique “grudada” conforme a bobina vai sendo produzida. Assim, na parte posterior da máquina

(*Wind-up*) são colocadas uma bobina vazia onde o produto será enrolado e uma bobina contendo o “envelope de tecido” que será enrolado juntamente ao material de borracha.

Um contador na parte posterior mede o comprimento do material à medida que está sendo enrolado. Quando o comprimento desejado é atingido, a máquina pára automaticamente e o operador aciona um botão para que as tiras já cortadas sejam reunidas e enroladas.

Uma vez pronta, a bobina é retirada, com o auxílio de um guindaste, e colocada em carros que comportam 5 bobinas. Mais uma vez, os próprios operadores das cortadeiras são responsáveis por esse procedimento e por organizar os carros vazios e os completos na zona de estocagem localizada na parte posterior das cortadeiras.

Para proporcionar uma idéia da produção diária, a demanda atual gira em torno de 180 bobinas por dia. Conforme mostrado na **Tabela 3.1** existem 54 códigos diferentes, que correspondem às 6 lonas de topo de cada uma das 9 dimensões. Devido ao lento processo de produção nas máquinas de montagem, o *lead time* de consumo de uma bobina em uma máquina pode variar de 5 a 26 horas. Esta grande variação é explicada por dois parâmetros: dimensão do pneu e o conseqüente tempo de produção e a quantidade de pneus que podem ser produzidos por uma bobina.

A **Tabela 3.2** mostra o tempo que leva para uma bobina de cada tipo de lona de topo ser consumida em uma máquina de acabamento. Este entendimento será importante no desenvolvimento do projeto, devido à restrição de validade descrita anteriormente.

O parâmetro “pneus por bobina” indica quantos pneus podem ser produzidos com uma bobina de cada tipo de lona de topo. O que restringe este parâmetro é o diâmetro da bobina. Isto porque as máquinas de acabamento apresentam uma restrição em relação ao diâmetro das bobinas que serão utilizadas. Assim, dependendo do tipo de rolo mestre e conseqüentemente da sua espessura, as bobinas podem comportar uma determinada quantidade maior ou menor de material, restringindo a quantidade de pneus que podem ser fabricados com uma bobina.

Tabela 3.2: Tempo de consumo de uma bobina em uma máquina de acabamento para cada dimensão e grupo de produto

DIMENSÃO	PNEUS POR BOBINA			TEMPO DE CONSUMO (h)		
	A	B	C	A	B	C
1	2	2	3	17	17	26
2	2	2	3	17	17	26
3	2	2	3	13	13	20
4	1	2	2	12	24	24
5	1	1	2	9	9	18
6	1	1	2	12	12	24
7	1	1	2	5	5	11
8	1	1	2	5	5	11
9	1	1	2	12	12	24

3.4 As Cortadeiras

A fábrica de Lexington opera com 3 cortadeiras de lonas de topo. A diferença principal entre elas são os ângulos de corte que podem efetuar: duas cortadeiras são capazes de cortar todos os ângulos da **Tabela 3.1** e a outra apenas os ângulos maiores de 20, não podendo assim produzir os artigos de grupo A.

Teoricamente, esta é a única restrição de produção nas cortadeiras. Na prática, porém, existem alguns outros problemas que fazem com que os operadores prefiram produzir certos artigos em uma cortadeira e não em outra. Este aspecto será considerado no projeto descrito no próximo capítulo, fazendo parte das melhorias contínuas propostas após a implementação do sistema *kanban*.

Cada cortadeira é operada por um único operador, havendo 3 operadores por turno de trabalho. Os operadores são responsáveis não apenas pela produção em si, mas também por colocar o rolo mestre e retirar as bobinas produzidas da cortadeira.

3.5 *Mudança de Produção (Setup)*

Para iniciar a produção de um tipo diferente de lona de topo, alguns parâmetros devem ser mudados e um certo tempo é despendido para a realização de tal procedimento. Este tempo vai depender do tipo de mudança que será realizada:

- Mudança de código: para iniciar a produção de qualquer componente é necessário introduzir o novo código no computador de controle da cortadeira. Estes códigos representam o meio pelo qual o tipo de lona de topo é identificado, contendo todos os parâmetros necessários para sua produção nas cortadeiras. Todas as informações de parâmetros são obtidas através deste código. O código também será impresso na etiqueta de identificação que será colocada na bobina pronta;
- Mudança de ângulo: quando o artigo, cuja produção será iniciada, apresenta um ângulo de corte diferente do anterior, é necessário um tempo de *setup* para posicionar a cortadeira corretamente. A mesa, onde o rolo mestre é desenrolado, se desloca, formando o ângulo desejado. Este sistema é acionado pelo operador, mas o deslocamento é feito automaticamente;
- Mudança de tipo de rolo mestre: conforme mostrado na **Tabela 3.1**, existem atualmente seis tipos diferentes de rolos mestres. Quando existe a necessidade de fazer esta mudança, o operador se dirige à parte anterior da cortadeira, onde o rolo mestre é colocado e realiza a troca. Um pequeno estoque de rolos mestres é mantido no solo próximo às cortadeiras, e é reposto a cada início de turno pelo responsável da movimentação de matérias primas. A retirada e a colocação dos rolos mestres são feitas com o auxílio de guindastes.

Medições realizados pelo departamento de Engenharia Industrial da fábrica indicam os tempos padrão para cada operação, apresentados na **Tabela 3.3**.

Tabela 3.3 : Tempo de *setup* de acordo com o tipo de mudança na produção

TIPO DE MUDANÇA	TEMPO (EM MINUTOS)
Mudança de código	1,245
Mudança de ângulo	4,165
Mudança de rolo mestre	8,085
Total	13,484

Assim, qualquer mudança de artigo na produção acarreta pelo menos uma mudança de código. Em várias ocasiões, porém, pode haver a necessidade de efetuar as três trocas em um mesmo momento. Vale a pena ressaltar que neste último caso, as mudanças não são feitas simultaneamente, exigindo em torno de 13,5 minutos para serem realizadas.

Todos os tempos padrões de operações ou ciclos em qualquer fábrica Michelin nos Estados Unidos, são obtidos através da metodologia MOST, uma metodologia para calcular o tempo de trabalho. O cálculo baseia-se no ritmo de um operador mediano (nem o mais eficiente nem o menos) e na seqüência de operações consideradas *standard*.

3.6 *Armazenagem e Transporte*

Conforme mencionado nas seções anteriores, as lonas de topo são armazenadas em forma de bobinas, e estas bobinas são movimentadas para as máquinas de acabamento para formar a cinta metálica dos pneus. Existe uma restrição quanto ao diâmetro e ao peso destas bobinas para que não ultrapassem as dimensões exigidas nas máquinas de acabamento para que possam comportar estas bobinas. Isto determina a quantidade de material, em comprimento, que será colocada na bobina. Para fornecer uma idéia de dimensão, o comprimento de cada lona de topo varia de 8 a 12 metros de comprimento de material (equivalente à circunferência do pneu), dependendo da dimensão. Assim, as bobinas que podem conter material suficiente para produzir de 1 a 3 pneus, possuem comprimento variando de 8 a 36 metros.

Assim, cada bobina de cada produto é composta por um comprimento pré-determinado, especificado sob o parâmetro “pneus por bobina”. Assim, a **Tabela 3.4** mostra a quantidade de pneus que podem ser fabricados com uma bobina de cada um dos produtos,

para cada uma das dimensões. As variações observadas são em função da dimensão do pneu e do tipo de rolo mestre, já que a espessura varia.

Tabela 3.4 : Número de pneus produzidos com uma bobina

DIMENSÃO	PNEUS POR BOBINA		
	Grupo A	Grupo B	Grupo C
1	2	2	3
2	2	2	3
3	2	2	3
4	1	2	2
5	1	1	2
6	1	1	2
7	1	1	2
8	1	1	2
9	1	1	2

A quantidade de pneus que pode ser fabricada utilizando cada bobina é um parâmetro importante na programação da produção.

As bobinas são armazenadas e transportadas em carros que comportam 5 bobinas. Existem duas dimensões diferentes de carros: 1,2 metros e 0,9 metros de largura. Assim, a largura do material determina o carro no qual as bobinas serão transportadas. A **Figura 3.6** apresenta o carro utilizado no transporte das bobinas, com bobinas completas e bobinas vazias (apenas o suporte após a utilização do material).



Figura 3.6 : Carro utilizado na armazenagem e transporte das bobinas de lonas de topo

Os carros são armazenados na zona de estocagem localizada ao final das cortadeiras. A organização desta área é função dos operadores das cortadeiras. Os operadores das máquinas de acabamento, por sua vez, são responsáveis por retirar seus produtos nesta área, e de devolver os carros e bobinas vazios. Esta movimentação deve ser realizada durante o ciclo no qual a máquina de acabamento opera automaticamente, sem a necessidade da presença do operador.

Um dos problemas deste processo é o fato da colocação das bobinas nos carros não seguir uma regra fixa, ou seja, quaisquer itens podem ser colocados em qualquer ordem nos carros. Em geral, os operadores das cortadeiras procuram colocar artigos que serão utilizados na mesma máquina de acabamento ou em máquinas vizinhas em um mesmo carro.

Além disso, a ordem de produção nas cortadeiras também influenciará a maneira como estas bobinas serão armazenadas. Assim, um carro pode conter tanto cinco bobinas de um mesmo item, quanto uma bobina de cada item.

Neste contexto, pode-se questionar a colocação das 6 lonas de topo destinadas à um tipo de pneu em um mesmo carro, fazendo com que um único carro seja movimentada para cada máquina de acabamento. Esta situação ideal, porém, é inviável. Primeiramente, estas seis lonas de topo não são, em geral, produzidas em uma mesma cortadeira, o que dificultaria a armazenagem em um mesmo carro. Em seguida, a **Tabela 3.4** mostra que cada tipo de lona de

topo é consumido em uma velocidade diferente, de acordo com a quantidade de pneus que podem ser fabricados com uma única bobina. Com isso, cada uma das bobinas deveria ser reposta em momentos diferentes, dificultando o fluxo em um único carro.

Em decorrência da falta de padronização na organização das bobinas nos carros, vários problemas são observados neste fluxo:

- Como algumas dimensões de pneus são produzidas em mais de uma máquina de acabamento, se cinco bobinas de um mesmo item são colocadas em um mesmo carro, este carro será movimentado diversas vezes para atender a demanda das diversas máquinas;
- Mesmo quando um carro comporta lonas de topo que serão utilizadas apenas em máquinas vizinhas, não existe um sistema de comunicação eficaz que localize estas bobinas.

A principal consequência desta falta de padronização, é o tempo despendido pelos operadores das máquinas de acabamento para encontrar e transportar os produtos que necessitam. Outra consequência observada é o alto estoque em processo de alguns tipos de lonas de topo, ao mesmo tempo em que ocorrem faltas de outros tipos.

Os carros são transportados da área de estocagem das cortadeiras para as máquinas de acabamento, para utilização posterior. Não existe, até este momento, uma localização pré-definida para a armazenagem dos carros ao lado destas máquinas. Além disso, outra consequência do problema de organização das bobinas nos carros é o fato de que pode existir nenhum, um ou seis carros ao lado das máquinas. Isto afeta, entre outras coisas, a circulação de material dentro da fábrica, em toda a área de montagem.

Durante um projeto realizado há alguns anos, foi desenvolvida uma estrutura para estocagem das bobinas ao lado das máquinas de acabamento, que poderia comportar seis bobinas. A idéia se baseava no fato de que cada pneu é composto por seis tipos diferentes de lonas de topo. Esta estrutura era conhecida como “carrossel” e no início do projeto existiam 16 carrosséis, um ao lado de cada máquina de acabamento. Esta estrutura é apresentada na **Figura 3.7.**



Figura 3.7 : Estrutura para a armazenagem das bobinas de lonas de topo ao lado das máquinas de acabamento

A primeira vista o projeto parece bastante sensato, porém, devido à própria organização do transporte e armazenagem, os carrosséis não eram utilizados pela maior parte dos operadores. As principais razões para tal fato, coletadas através de uma série de entrevistas com os operadores, eram:

- A dupla manipulação exigida para a utilização dos carrosséis: para utilizá-los, os operadores deveriam retirar as bobinas do carro com o auxílio do guindaste, colocá-las no carrossel e, no momento da utilização, retirá-las do carrossel e colocá-las na máquina;
- Como os carros de transporte podiam conter diferentes tipos de lonas de topo, até mesmo lonas que seriam utilizadas em diferentes máquinas de acabamento, estes permaneciam ao lado das máquinas de acabamento, juntamente com os carrosséis, sem que este último fosse utilizado adequadamente.

Em suma, a explicação dos operadores era que, já que os carros continuariam ao lado das máquinas e que utilizar os carrosséis significava gastar mais tempo com a movimentação, eles preferiam utilizar somente os carros, poupando tempo.

Assim, no início do estudo apresentado neste trabalho, a taxa de utilização dos carrosséis era de 15% (indicador obtido através da obtenção dos dados em dez visitas aleatórias em duas semanas).

A implementação do sistema *kanban*, descrito no Capítulo 0, mostrará a necessidade de retirar estes carrosséis, uma vez que não são propriamente utilizados e ocupam um espaço considerável na área de montagem.

4 PROPOSTA DE MELHORIA

Este capítulo apresentará uma análise dos problemas observados no processo de produção das lonas de topo, que servirão como base para a estruturação da proposta de implementação de um sistema *kanban*.

Primeiramente, a análise de fluxo de valor permite uma visão geral do processo, incluindo fluxo dos componentes e estoques intermediários. Posteriormente, programação da produção antes da implementação do *kanban* será detalhada, mostrando diversas oportunidades de melhorias. Este detalhamento visa identificar não apenas os problemas observados no processo, mas também as causas destes problemas. Por fim, um resumo dos problemas observados permitirá a estruturação da proposta de melhoria, que inclui a implementação do sistema *kanban*.

4.1 Mapeamento do Fluxo de Valor

O processo descrito na seção anterior será o foco do projeto piloto de implementação do sistema *kanban*. Antes de detalhar o sistema *kanban* implementado, algumas análises serão apresentadas para melhor entendimento da problemática específica do setor.

Na seção 3.1.1, o mapa de fluxo de valor da fábrica de Lexington foi apresentado para facilitar o entendimento de cada processo dentro da fábrica (**Figura 3.3**). Neste capítulo, será apresentado um mapa do fluxo de valor simplificado, detalhando apenas o fluxo das lonas de topo. Deste modo, o mapa de fluxo de valor apresentado na **Figura 4.1**, mostra uma “fotografia” do processo de produção e utilização das lonas de topo.

O mapa de fluxo de valor mostra um estoque intermediário e final bastante significativos. A descrição da programação da produção, a seguir, mostrará que apesar do estoque médio bastante elevado, existem muitas diferenças no nível de estoque de um item ao outro, havendo freqüentes ocorrências de falta de certos componentes.

Os problemas observados na programação da produção e conseqüentemente nos níveis de estoque serão objetos de estudo e foco de melhoria na implementação do sistema *kanban*.

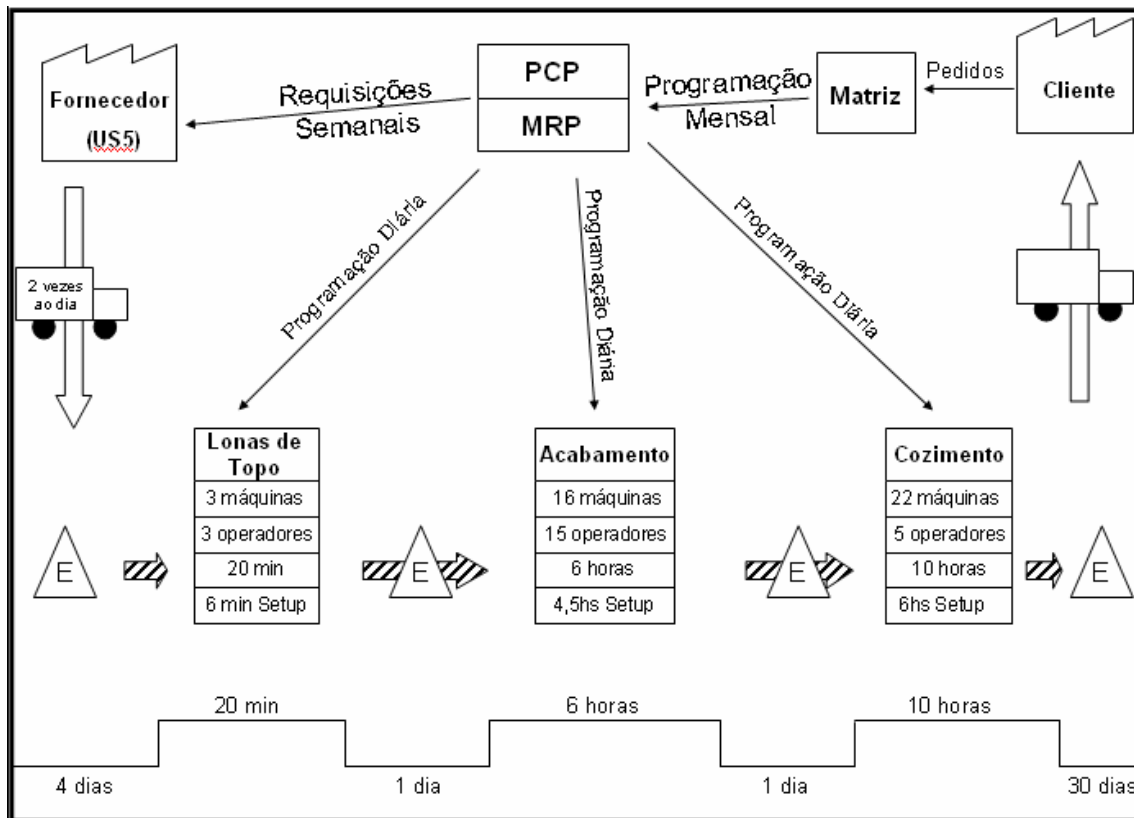


Figura 4.1 : Mapeamento do Fluxo de Valor para o estado atual (lonas de topo)

O mapa de fluxo de valor mostra ainda um fluxo de produção guiado pela programação diária da produção. Este projeto piloto será desenvolvido entre as áreas de preparação e de acabamento apresentadas no mapa. O aprovisionamento das matérias primas não faz parte do escopo deste projeto, mas percebe-se claramente um ponto de melhoria neste processo: as ordens são feitas semanalmente, os materiais recebidos duas vezes ao dia e ainda assim um estoque de 4 dias é mantido, podendo variar na prática de 0 a 8 dias dependendo do item, em determinados momentos.

Outro ponto importante representado no mapa é o estoque de 30 dias de produtos acabados. Existe uma restrição logística que dificulta o escoamento destes produtos com mais rapidez, que está relacionada com regulamentações de transporte no estado da Carolina do Sul. Os caminhões são proibidos de circular em determinados horários e dias da semana. Além disso, como grande parte dos produtos são produzidos para exportação e escoados por vias marítimas, existem também certas restrições referentes aos containeres. Por fim, as grandes dimensões destes pneus tornam todo este sistema de transporte mais complexo. A

consequência é a necessidade de uma área de estocagem imensa na fábrica, para comportar aproximadamente 1500 pneus dessas dimensões. Apesar disto não fazer parte do escopo deste projeto, foi sugerido, como projeto futuro, a possibilidade de integrar a programação da produção à logística de escoamento destes produtos, reduzindo ou minimizando o estoque final.

Considerando o fluxo de valor apresentado, o projeto piloto foi implementado em apenas uma das áreas, da área de fabricação de componentes para a área de acabamento, área em que o estoque médio é de um pouco mais de um dia. Conforme dito anteriormente, o grande problema é que ocorre frequentemente a falta de alguns tipos de lona de topo, enquanto outros estão disponíveis em grandes quantidades, até mesmo ocorrendo a perda do produto pelo vencimento da validade. Estes problemas observados serão detalhados no próximo tópico, ao discutirmos a programação da produção.

4.2 Programação da Produção

A programação da produção nas cortadeiras é obtida automaticamente a partir da programação diária de produção de pneus fornecida pela equipe de planejamento e programação da produção. Esta programação, detalhada por dimensão, gera automaticamente as quantidades a serem produzidas de todos os componentes, com um dia de antecedência.

Embora a programação da quantidade necessária de cada item seja obtida automaticamente, não existe, até então, um sistema que informe a quantidade de componentes em estoque. Assim, um inventário físico é realizado diariamente e as quantidades obtidas são inseridas no sistema para a geração da lista de produção (lista contendo cada componente e a quantidade a ser produzida). Este inventário físico é realizado por um dos operadores das cortadeiras ao final do turno da noite, logo antes do início do turno da manhã. Este procedimento leva de 45 a 60 minutos, pois o operador deve percorrer não apenas a zona de estocagem ao final das cortadeiras, mas também toda a região ao lado das máquinas de acabamento.

Cada tipo de lona de topo é previamente alocado para ser produzido em uma das cortadeiras. Esta predefinição faz com que, mesmo que tecnicamente alguns tipos de lonas de topo possam ser produzidas em mais de uma cortadeira, cada lona de topo aparece automaticamente em uma única lista de produção, associada a uma única cortadeira. A

alocação de cada lona a cada uma das cortadeiras é feita pelo responsável técnico em função do *mix* de produtos. A idéia é equilibrar a demanda diária entre as cortadeiras e minimizar as trocas de rolos mestres necessárias em cada uma, minimizando o tempo total de *setup*.

Assim, a lista de produção para cada cortadeira contém lonas de topo pré-determinadas. Estas lonas são raramente transferidas de uma cortadeira para outra; apenas se houver uma grande mudança no *mix* de produtos (pneus), desequilibrando a produção.

Através da programação da produção necessária para o dia e do inventário físico realizado, a lista de produção fornece a cada cortadeira a quantidade a ser produzida durante o dia. A lista inclui ainda um campo que visa ordenar os artigos a serem produzidos, segundo a seguinte classificação:

- “*HOT*”: os artigos indicados pela palavra “*HOT*” são urgentes e devem ser produzidos primeiramente já que o estoque é nulo ou quase nulo;
- “*THIS*”: estes artigos devem ser produzidos no turno atual, pois o estoque é inferior a 0,7 dia;
- “*NEXT*”: estes artigos podem ser produzidos no turno seguinte pois o estoque é superior a 0,7 dia mas inferior a 1,7 dias;
- “”: os artigos sem nenhuma classificação não devem ser produzidos naquele dias, pois o estoque é superior a 1,7 dias.

A **Figura 4.2** mostra um exemplo de lista de produção para uma das cortadeiras, em um dia selecionado. A coluna “*Shift*” (turno) mostra a classificação de prioridade descrita anteriormente.

Reset Inv Prep DL for 5/40 Update Inv Print DL 05/19/2008 06:46 AM

Do not use any recoup H14 or older (14-May-08)

Post	Product	Pack	Angle	Code	M/Roll	Daily Usage	Desired Level	FIFO	Phys Inv	Run	Run Time	Shift	M	E	Inv	Tires
5/40																
NKC03853																
●	NST1			07253	17.7	1.45	2.47		4	0	0					
●	FCC1	5		04931	20.8	9.80	16.65		9.5	8	123	Next				
●	FCC1	5		40608	21.4	2.40	4.08		3.5	1	19	Next				
●	FCC2	5		64588	20.7	9.87	16.78		6.5	11	166	Next				
●	FCC2	5		74945	21.4	2.40	4.09		1.5	3	56	This				
●	NST2	19		21557	17.7	1.46	2.48		3	0	0					
●	NST2	21		42469	30.6	1.78	3.03		4.5	0	0					
●	NST1	35		10422	30.6	1.75	2.97		2	1	21	Next				
●	1/2NTS	67		30978	15.7	6.69	11.37		6	6	111	Next				
NKC05518																
●	NSP2	24		39752	31.1	4.90	9.31		9	1	16	Next				
●	NSP2	24		43297	30.1	1.64	2.79		2.33	1	15	Next				
●	NS	24		75388	26.4	0.99	1.67		2	0	0					
●	NSP2	24		83977	31.2	1.63	2.77		4.33	0	0					
●	NSP1	28		23492	29.6	1.82	3.10		3.66	0	0					
●	NSP2	28		46257	30.1	1.80	3.05		3	1	15	Next				
●	RD	45		75668	19.9	6.32	12.64		11	2	38	Next				
ERP Totals						56.78	99.27		76	15	588					
OutSide ERP Totals						0	0		0	0	0					
Grand Totals						56.7	99.27		76	15	588					

Figura 4.2 : Exemplo de lista de produção para uma das cortadeiras.

A partir desta classificação, os operadores definem a ordem de produção que seguirão. Quando o operador de uma das cortadeiras termina a produção do dia na sua máquina, ele é orientado a refazer o inventário físico, gerar novamente a lista e iniciar a produção com base na nova lista.

A meta estabelecida pelo departamento de Engenharia Industrial é de 38 bobinas por turno por máquina. Os operadores são analisados diariamente com base neste objetivo de produção. Este indicador de produção é característico do sistema de produção empurrada.

Alguns problemas foram relatados por parte dos operadores a respeito do procedimento atual:

- O inventário físico não é preciso, pois é realizado enquanto as lonas estão sendo transportadas, dificultando a contagem;

- A classificação em *HOT*, *THIS* e *NEXT*, não indica uma total priorização de cada componente. Por exemplo: se três itens são assinalados como *HOT*, como saber qual produzir primeiro?
- O balanceamento da produção é apenas teórico. Na prática, há dias em que uma cortadeira tem muito mais demanda do que outra, causando um forte desequilíbrio.

Em relação ao último problema destacado pelos operadores, observa-se que, devido ao fato de cada lona de topo ser previamente alocada a cada cortadeira, os operadores não trabalham em equipe para completar a produção do turno. Eles acabam trabalhando individualmente produzindo as lonas que consideram “suas”. Muitas vezes, enquanto um operador está produzindo uma lona indicada como “*NEXT*”, o operador ao lado está trabalhando em ritmo extremamente elevado para produzir artigos indicados como “*HOT*”. Assim, é bastante comum haver a falta de um tipo de lona enquanto se produz outra lona ao lado, cujo estoque existente é superior a um dia.

Assim, pode ocorrer a falta de alguns tipos de lona, enquanto os níveis de estoque de outros são elevados. Conforme dito anteriormente, qualquer excedente na produção é automaticamente revertido em vendas, já que o mercado atual é caracterizado por uma demanda muito superior a oferta. Assim, o tempo perdido por problemas de planejamento da produção e de fluxo representa perdas em vendas.

4.3 Procedimento de “Phase-in” e “Phase-out”

As mudanças de *mix* de produtos ocorrem com uma frequência reduzida. Em geral, a maioria das máquinas (tanto de montagem quanto de cozimento) passa semanas e até meses produzindo a mesma dimensão de pneu. Algumas máquinas, porém, produzem dimensões diferentes, havendo trocas mais frequentes, em geral uma ou duas vezes por semana. Esta frequência reduzida se deve principalmente ao alto tempo de *setup* nas máquinas de confecção, acabamento e cozimento. Quando estas mudanças ocorrem, porém, existem procedimentos, denominados “*Phase-in*” (dimensão de pneu e componentes cuja produção será iniciada) e “*Phase-out*” (dimensão de pneu e componentes cuja produção será finalizada).

A equipe de planejamento e programação da produção informa as diferentes equipes das mudanças, de 3 a 4 dias antes da data prevista para tal mudança. Esta mudança pode estar

vinculada a um número de pneus que devem ser produzidos antes da mudança ou a uma data e horário na qual a equipe manutenção é agendada para efetuar a mudança.

No caso de um “*Phase-in*”, os componentes devem estar disponíveis fisicamente antes que apareça na lista de produção, devido a este atraso de um dia. Assim, os chefes de equipe são responsáveis por informar e monitorar os operadores das cortadeiras para que as lonas de topo para produção dos pneus em “*phase-in*” sejam produzidas com a antecedência desejada.

O “*Phase-out*”, por sua vez, é um procedimento mais complicado e trabalhoso. Os chefes de equipe são responsáveis por monitorar os estoques das lonas de topo numa contagem regressiva para interromper a produção nas cortadeiras. No caso de uma mudança vinculada a um número específico de pneus a produzir antes da troca, a contagem regressiva é bastante simples. Em contrapartida, no caso de uma troca com data e hora marcadas, esta contagem se torna mais complicada, pois o número de pneus não é fixado e dependerá do ritmo de produção. Sendo assim, a definição da quantidade de cada lona de topo a produzir também se torna mais complicada, exigindo um controle rígido dos chefes de equipe e um monitoramento constante do estoque e da produção.

No caso de superprodução de uma lona que seria utilizada em um pneu em “*phase-out*”, o principal risco é a expiração da validade e a conseqüente perda de material. Mesmo se isso não ocorrer, como a lona de topo não pode ser utilizada em outras dimensões devido a diferenças de largura, ela é recortada num departamento específico e os pedaços são reutilizados na produção de outras lonas de topo. Este é um procedimento bastante trabalhoso, que torna o ciclo de produção muito mais lento.

Este tipo de mudança no mix de dimensões dos pneus não ocorre com grande frequência, como se imagina que ocorra em uma fábrica de pneus de carro. Como os tempos de *setup* das máquinas de montagem e vulcanização é muito elevado (chegando a até 8 horas), a equipe de Planejamento e Programação da Produção visa minimizar estas mudanças. Em geral, ocorre em média uma mudança a cada duas semanas.

4.4 Problemas Observados e Proposta do Projeto

Durante o levantamento do processo anterior à implementação do *kanban*, foram identificados diversos pontos de melhoria. A finalidade do projeto de implementação do sistema *kanban* é de eliminar os desperdícios, permitindo um fluxo de produção enxuto. A

seguir, os principais problemas observados são citados e em seguida as principais consequências são explicitadas.

Problemas Observados

- Inventário físico: atividade sem valor agregado e muitas vezes imprecisa, realizada pelo menos uma vez ao dia;
- Não existe uma total priorização do item a ser produzido;
- Não existe colaboração entre os operadores das cortadeiras e nem entre estes operadores e os das máquinas de acabamento;
- Os níveis de estoque são muito discrepantes, podendo haver um tipo de lona de topo em falta enquanto outra tem mais de dois dias de inventário;
- A meta de produção induz a idéia de produção em escala, dando mais valor à quantidade produzida do que à produção do produto certo. É importante lembrar que a meta de 38 bobinas por turno e por máquina representa 228 bobinas por dia, número bastante superior às 180 bobinas consumidas diariamente pelo posto cliente. Ainda assim, existem artigos em ruptura e outros com elevados estoques. Isto mostra que o enfoque está no “quanto” e não no “o quê”;
- Problema de organização das bobinas nos carros e a conseqüente “perda” dos produtos na fábrica;
- Desequilíbrio na carga de trabalho das cortadeiras, já que cada operador produz apenas as lonas de topo alocadas à sua lista de produção. Muitas vezes, as listas de produção das três cortadeiras apresentam um grande desequilíbrio na carga de trabalho, porém os operadores não se comunicam para definir as prioridades da produção geral.

Consequências:

- Níveis médios de estoque intermediários de mais de 1 dia;
- Parada da produção por falta ou localização errada das lonas de topo: em média 150 minutos por dia de janeiro a julho de 2008;

- Material perdido por não utilização dentro da validade: aproximadamente 100 bobinas em 2007, com valor correspondente a US\$ 50.000;
- Tempo gasto com inventário físico: pelo menos 45 minutos por dia.

Metas:

- A organização da zona de estocagem e do fluxo de componentes entre as cortadeiras e as máquinas de acabamento, a partir da organização das bobinas nos carros;
- A produção puxada pela demanda e a conseqüente eliminação da lista de produção;
- A eliminação do inventário físico diário;
- Nenhuma parada de produção devido à falta de lonas de topo;
- Eliminação da superprodução e a conseqüente perda por vencimento da validade;
- Redução do nível de estoque em processo.

5 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA *KANBAN*

No capítulo anterior, a situação e os desafios atuais da fábrica de Lexington foram apresentados. Problemas de estoque em processo, de fluxo e de eficiência da produção foram destacados, mostrando um ambiente propício à implementação da produção enxuta.

Os desperdícios percebidos atualmente, em termos de material, tempo e mão-de-obra são uma preocupação crescente da direção da fábrica e do próprio grupo Michelin, particularmente devido aos grandes investimentos injetados na fábrica nos últimos anos, e programados até 2009.

O projeto piloto consistiu na implementação de um sistema *kanban* nas três cortadeiras descritas no capítulo anterior. Os estudos tiveram início em março de 2008 e a comunicação aos operadores iniciou em maio do mesmo ano. O processo de implementação foi iniciado no dia 7 de julho e completado no dia 22 de julho, com a implementação do sistema abrangendo todos os tipos de lonas de topo produzidas nas três cortadeiras e utilizadas em dezesseis máquinas de acabamento.

Este capítulo tem como finalidade explicar o sistema desenvolvido e todo o procedimento de comunicação e implementação, incluindo aspectos técnicos e humanos.

5.1 *Definição do Tamanho do Container*

Um dos primeiros passos para a implementação do sistema *kanban* foi a determinação do tamanho do lote de transferência, que será chamado neste trabalho de *container*. A movimentação das bobinas é realizada em carros que comportam 5 bobinas, conforme descrito na seção 3.6. A fábrica possui 93 carros, sendo 53 de 0,9 metro e 40 de 1,2 metro de largura.

Inicialmente, pensou-se em desenvolver um sistema de supermercado de bobinas, entre as cortadeiras e a montagem, a fim de facilitar a implementação do sistema *kanban* e o próprio fluxo de produtos. Com uma estrutura de armazenagem utilizando estantes inclinadas, seria possível garantir um sistema FIFO, e cada *kanban* corresponderia a uma bobina.

Este mecanismo seria mais coerente com o sistema *kanban* e o *Just-in-Time*. Assim, inicialmente esta solução parecia bastante plausível, e os resultados esperados bastante motivadores. Porém, algumas restrições fizeram com que a idéia fosse abandonada no

momento do desenvolvimento do projeto. Primeiramente, uma estrutura deste tipo significaria um investimento considerável, que não poderia ser realizado naquele momento. Porém, mais importante do que isso, o espaço existente não permitiria a construção de um supermercado. Deste modo, foi necessário buscar uma adaptação para a estruturação e o dimensionamento do sistema *kanban*.

Devido às restrições de validade, não seria possível definir o tamanho do *container* em 5 bobinas por carro. Na seção 3.3, o tempo de consumo de uma bobina por uma máquina foi apresentado, mostrando que este tempo pode variar de 5 a 26 horas por bobina, dependendo do tipo de lona de topo. Isso significa que 5 bobinas de um mesmo artigo poderiam representar de 1 a 5 dias de estoque, o que poderia ultrapassar os 3 dias de validade determinados.

Idealmente, pensou-se em utilizar carros menores, que comportariam apenas uma ou duas bobinas. A equipe de projetos estimou o valor de compra de um carro para 2 bobinas em US\$ 1.700, a metade do valor do carro de 5 bobinas utilizado atualmente. Assim, os investimentos necessários seriam bastante elevados além dos carros existentes terem que ser descartados. Sendo assim, novas alternativas foram estudadas para a resolução do problema.

A alternativa escolhida foi colocar duas bobinas de cada um dos produtos de um mesmo grupo em um mesmo carro, inutilizando o quinto espaço, como mostra a **Figura 5.1**.

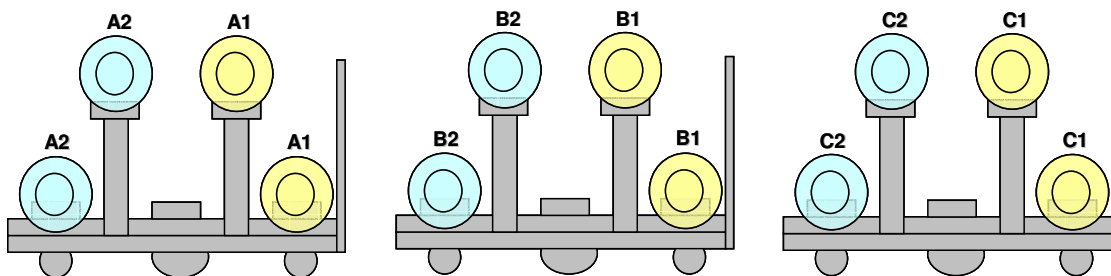


Figura 5.1 : Desenho esquemático do *container kanban*

Assim, cada carro conteria duas bobinas de cada produto de um mesmo grupo para uma mesma dimensão.

É importante lembrar que os produtos de um mesmo grupo (A, B ou C) possuem o mesmo ângulo e tipo de rolo mestre, e portanto somente uma mudança de código no computador seria necessária para a produção de um *kanban*. Além disso, estes produtos são consumidos na mesma frequência, já que apresentam o mesmo parâmetro de “pneus/bobina”, e na mesma fase de montagem do pneu, sendo o aprovisionamento de ambos necessário ao mesmo tempo.

5.2 Cartão Kanban

Os cartões *kanban* devem conter as informações mais importantes do produto e do processo. No caso deste projeto, julgamos importante colocar os parâmetros que caracterizam as lonas de topo, bem como a dimensão do pneu no qual serão utilizadas.

A **Figura 5.2** mostra exemplos dos cartões *kanban* das lonas de topo utilizadas na fabricação da dimensão 1. Os parâmetros apresentados no cartão *kanban* são: grupo e tipo de produto (A1, A2, B1, B2, C1, C2), código do produto (código do sistema), ângulo de corte e tipo de rolo mestre para facilitar o sequenciamento da produção nas cortadeiras. A dimensão do pneu referente ao produto também foi indicada, para facilitar a retirada dos carros pelos operadores das máquinas de acabamento. Por fim, a quantidade de peças no *container* também é identificada.

GRUPO A - Dimensão 1			GRUPO B - Dimensão 1			GRUPO C - Dimensão 1		
Código:	84044	77984	Código:	07253	21557	Código:	34756	75380
Quantidade:	2	2	Quantidade:	2	2	Quantidade:	2	2
Produto:	A1	A2	Produto:	B1	B2	Produto:	C1	C2
Rolo Mestre	RM3		Rolo Mestre:	RM4		Rolo Mestre:	RM6	
Ângulo:	11		Ângulo:	26		Ângulo:	32	
"Phase Out":			"Phase Out":			"Phase Out":		

Figura 5.2 : Exemplo de cartões *kanban* para as 6 lonas de topo da dimensão 1

O último campo do cartão será utilizado para facilitar o procedimento de “Phase-out” descrito na seção 4.3. O modo como o *kanban* facilitará este procedimento será detalhado posteriormente.

A cor de cada cartão está relacionada ao tipo de rolo mestre, para facilitar a visualização e as possíveis combinações no momento da produção nas cortadeiras, minimizando a quantidade de trocas necessárias.

É importante compreender que cada cartão (*kanban*) corresponde a um “jogo de bobinas” (A1 e A2 ou B1 e B2 ou C1 e C2), contendo duas bobinas de cada. Assim, um cartão corresponde a um “jogo de bobinas” composto por quatro bobinas, conforme apresentado anteriormente na **Figura 5.1**. A quantidade de pneus que podem ser produzidos com um carro (um *kanban*) depende do parâmetro “pneus por bobina” (**Tabela 3.4**).

5.3 *Quadro Kanban*

Primeiramente, decidimos desenvolver apenas um quadro *kanban* para as três cortadeiras. Deste modo, a produção em cada uma seria compartilhada de acordo com a demanda real a cada dia, não havendo mais lonas de topo pré-determinadas a cada uma delas. Como quase todos os artigos podem ser produzidos em qualquer cortadeira, uma única tabela mostraria visual e claramente a quantidade de trabalho do dia ou do turno. O quadro único visa também melhorar o trabalho em grupo, incentivando a maior cooperação entre os operadores.

A utilização de um quadro *kanban* habitual, como apresentado na seção 2.3, apresentava alguns inconvenientes relacionados a algumas especificidades do processo em questão. O fato de a quantidade de lonas de topo diferentes ser bastante elevada, a implementação de um sistema de supermercado de bobinas foi descartado e o mesmo ocorre com o quadro *kanban* habitual. Além disso, como a demanda diária por cada tipo de lona de topo é relativamente baixa, a utilização do quadro referente à zona verde, vermelha e amarela faria com que o número de cartões fosse mais elevado e mantendo um estoque intermediário alto.

A adaptação desenvolvida foi um quadro que indicasse as horas na qual os produtos deveriam ser produzidos de acordo com um *lead time* determinado. O desenho esquemático do quadro está apresentado na **Figura 5.3**.

As colunas indicam as horas do dia, divididas entre o turno da manhã (*M-Shift*), que vai das 7 da manhã às 7 da noite, na parte superior, e o da noite (*E-shift*), das 7 da noite às 7 da manhã, na parte inferior.

NS Cutters Production Board												
M	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
E	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6

Figura 5.3 : Desenho esquemático do quadro *kanban*

Como o cálculo inicial do *kanban* leva em conta a demanda diária, definimos um *lead time* de 12 horas. Assim, quando o operador do posto cliente (máquinas de acabamento) retira o carro com o cartão (*container kanban*), ele remove o cartão do carro e coloca-o no quadro, antes de deixar a área de estocagem. O cartão deve ser colocado 12 horas na frente, ou seja, se o operador retira seu produto às 8 horas do turno da manhã, ele coloca o cartão na coluna correspondente às 8 horas do turno da noite. Para os operadores das cortadeiras, através do quadro fica indicado que este *container* deve ser produzido novamente às 8 horas do turno da noite.

Este *lead time* foi fixado em 12 por algumas razões principais:

- A colocação dos cartões no quadro é bastante facilitada: deve-se colocá-los no mesmo horário que o da retirada, porém no turno seguinte;
- Como o cálculo do número de *kanbans* considera 24 horas e os cartões são colocados no quadro 12 horas depois da retirada, existe um período grande de segurança entre o horário da produção e o horário real no que o produto será utilizado. Isso permitirá a combinação de ângulos e de rolos mestres, no momento da produção, reduzindo o número de mudanças e *setups* necessários;

- Os operadores das cortadeiras, no início do seu turno, encontram no quadro a sua “lista de produção” para o turno completo e não haverá mudanças até o final do turno. Isso porque tudo o que for retirado durante o seu turno, será colocado no quadro para ser produzido no turno seguinte.

Verifica-se que este sistema é um sistema de reposição, no qual tudo que for retirado neste turno será produzido novamente no turno seguinte.

Por fim, o quadro *kanban* será colocado na zona de estocagem das cortadeiras, facilitando tanto o acesso dos operadores das máquinas de acabamento que colocarão os cartões no quadro, quando a visibilidade por parte dos operadores das cortadeiras.

5.4 Fluxo de Cartões

Uma vez definidos o tamanho do *container* e o quadro *kanban*, definiu-se o fluxo dos cartões *kanban*. O cartão *kanban* é colocado no carro (*container*) uma vez que as lonas de topo correspondentes forem produzidas nas cortadeiras. O cartão só é fixado ao carro quando as 4 bobinas que devem compor o *container* tiverem sido produzidas e armazenadas no carro. O *container* com o cartão deve ser então alocado na zona de estocagem localizada ao final das cortadeiras.

A **Figura 5.4** mostra um exemplo de carro com as quatro bobinas e o cartão *kanban* fixado de forma visível.



Figura 5.4 : Exemplo de *container* completo com o cartão equivalente

Quando um operador das máquinas de acabamento precisa de uma lona de topo (ou no caso de um “jogo de lonas de topo”), ele se dirige à zona de estocagem e retira o *container* correspondente. Antes de deixar a zona de estocagem, os operadores deverão retirar o cartão do carro e colocá-lo no quadro *kanban*, 12 horas à frente do horário no qual a retirada ocorre.

Neste ponto, é importante ressaltar que a decisão de que os cartões *kanban* não devem deixar a área das cortadeiras foi bastante discutida. O principal motivo foram os relatos da experiência da fábrica ao lado (US5) com relação ao sistema *kanban*. O que ocorreu foi que os cartões eram transportados pela fábrica juntamente com os *containers*, mas não eram trazidos de volta, uma vez que o material fosse consumido. Em consequência disso, vários cartões eram “perdidos” diariamente, e uma pessoa por turno foi designada para realizar um inventário físico dos cartões, o que exigia muito tempo dadas as dimensões da fábrica.

Por este motivo, a equipe decidiu que o cartão *kanban* deveria ser colocado no quadro antes do operador deixar a área das cortadeiras. Este procedimento é coerente com o *lead time* de 12 horas utilizado na colocação dos cartões no quadro.

Retomando o fluxo em questão, os *containers* devem ser levados às máquinas de acabamento, onde estão posicionados até a utilização da última bobina. Como cada carro contém um “jogo de lonas de topo”, poderá haver no máximo 3 carros em cada máquina, sendo os espaços identificados no solo. Deste modo, a organização ao lado destas máquinas também será otimizada com a implementação do sistema *kanban*. Para isso, os carrosséis foram retirados da fábrica, aumentando o espaço disponível para o armazenamento dos carros.

Para os operadores das cortadeiras, o quadro indica o horário no qual um determinado “jogo de lonas de topo” deve ser repostado. Assim, no início de cada turno, os operadores das três cortadeiras se reúnem em frente ao quadro para dividir a carga do turno inteiro a ser produzida entre eles. Esta divisão deve ser feita considerando as especificidades e restrições de cada cortadeira, e visando o equilíbrio na produção em cada uma delas.

É importante lembrar que, no início do turno, os operadores possuem uma visão completa da produção necessária para este turno, pois qualquer *container* que for retirado durante o seu turno, será somente produzido no turno seguinte. Assim, a produção necessária para o turno não pode ser modificada no decorrer do mesmo.

No momento da produção das lonas de topo, o cartão é retirado do quadro e levado para o posto de produção da cortadeira, onde as bobinas correspondentes serão produzidas. Ao final da produção, o cartão é novamente anexado ao carro, e o ciclo recomeça.

Para que o sistema *kanban* fosse implementado com sucesso, algumas regras foram estabelecidas e comunicadas:

Para os operadores das cortadeiras:

- Durante a produção, deve-se respeitar os horários indicados no quadro, havendo uma flexibilidade de combinação da produção das lonas de topo, em uma janela de quatro horas. Assim, os operadores podem combinar a produção de lonas de topo que possuam o mesmo ângulo de corte e/ou o mesmo rolo mestre, reduzindo o número de *setups* necessários e minimizando as perdas decorrentes destas trocas;
- A produção só pode ser realizada se houver cartões no quadro para serem produzidos neste turno;
- A qualidade dos produtos é um dos princípios fundamentais da produção enxuta e do sistema *kanban*. Sendo assim, nenhuma bobina defeituosa deve ser enviada ao posto subsequente;
- Quando o operador de uma cortadeira finaliza a produção do turno inteiro, algumas regras foram definidas indicando as atividades que devem ser realizadas neste caso:
 1. Verificar se é possível produzir na cortadeira em questão alguma lona de topo que normalmente seria produzida em outra cortadeira, naquele mesmo turno;
 2. Verificar a quantidade de cartões no quadro para o turno seguinte. Em caso positivo, produzir os cartões correspondentes às 3 primeiras horas do turno seguinte;
 3. Ajudar os operadores das outras cortadeiras trabalhando a dois em uma única máquina. Com dois operadores, espera-se que a produtividade aumente em 30%;
 4. Realizar atividades de 5S (limpeza, organização, etiquetagem, documentação);

5. Realizar rodízio nas outras cortadeiras para desenvolver operadores polivalentes. Apesar de muito semelhantes, as três cortadeiras possuem certas especificidades fazendo com que sejam necessários treinamentos específicos em cada uma delas, para que os operários sejam aptos a operarem-nas. Estes rodízios podem contribuir neste treinamento.

Para os operadores das máquinas de acabamento:

- Os operadores devem retirar o *container* apenas no momento em que utilizarão as lonas de topo. Como os cartões *kanban* funcionam como uma ordem de fabricação, se os operadores retirarem um *container* sem que haja a necessidade de utilizá-los imediatamente, uma ordem “falsa” será gerada e o *container* será repostado sem que haja necessidade. Isso aumenta o nível de estoque e dissimula a priorização da produção;
- Os carros vazios devem ser retornados à zona de estocagem das cortadeiras pelos operadores das máquinas de acabamento, no momento da retirada do novo *container* completo. Este procedimento é fundamental para o bom funcionamento do sistema, tanto para evitar a falta de *containers* nas cortadeiras, quanto para organizar a estocagem ao lado das máquinas de acabamento;
- A localização dos três carros ao lado das máquinas de acabamento será marcada no chão através de fita ou tinta. Esta localização deve ser respeitada, otimizando o espaço utilizado e facilitando o fluxo de produtos dentro da fábrica;
- A transferência de carros de uma máquina de acabamento à outra não será permitida, mesmo que o mesmo tipo de lona de topo seja utilizado em diversas máquinas de acabamento. Um dos objetivos desse sistema *kanban* é organizar o fluxo dos carros, minimizando o fluxo inter-máquinas. Para isso, os operadores devem sempre retirar os carros com as lonas de topo de que necessitam na zona de estocagem das cortadeiras.

Deste modo, estas regras contemplam os principais problemas a serem solucionados com a implementação deste sistema: priorizar a produção nas cortadeiras, otimizar o nível de estoque de todas as lonas de topo, organizar o fluxo das lonas de topo das cortadeiras às máquinas de acabamento e minimizar o fluxo inter-máquinas.

5.5 Número de Cartões Kanban

A quantidade de cartões no sistema foi inicialmente calculada através da fórmula apresentada na seção 2.3.2. Conforme mencionado anteriormente, optamos por não utilizar o quadro que classifica a produção em urgente (vermelho), atenção (amarelo) e normal (verde). Com isso, o número total de cartões para cada artigo foi definido através da fórmula a seguir:

$$n = \frac{L}{Q} + \frac{S}{Q} + \frac{D \times T}{Q} + 1$$

Onde:

Q = quantidade de peças por container;

n = número de *containers*;

L = lote mínimo de produção;

D = demanda;

T = tempo de ressuprimento (*lead time*);

S = estoque de segurança.

A fórmula acima foi arredondada para cima, a fim de obter-se apenas números inteiros.

A utilização do *lead time* de 12 horas no quadro *kanban*, apresentado na seção 5.3, já apresenta um fator de segurança importante. Deste modo, o estoque de segurança considerado na fórmula foi zero, já que este fator está incorporado ao próprio sistema estabelecido.

O cálculo foi realizado em uma planilha Excel para facilitar a atualização em caso de mudança do *mix* de produtos. O cálculo é feito através da programação da produção diária de cada dimensão de pneu. Se houver mudança no *mix* de produtos, é necessário apenas atualizar estes dados e o número é calculado automaticamente. Quando não existe mudança no *mix* de produtos, as quantidades em geral também não mudam, já que estão são estabelecidas de acordo com a capacidade das máquinas. Isto significa que a programação da produção diária é bastante estável, ideal na implementação do sistema *kanban*.

Pequenas variações na demanda real, porém, são naturalmente absorvidas pelo sistema: se o consumo for mais acelerado, a reposição também ocorrerá antecipadamente, já

que o cartão estará disponível no quadro mais rapidamente; se a produção estiver mais lenta, o *container* não será retirado e a reposição não será efetuada.

É importante ressaltar que o número inicial de cartões no sistema não é fundamental. O importante é reduzir este número, através da retirada gradual e sucessiva dos cartões, um por vez. A cada cartão retirado, novos problemas são identificados, como longos *setups*, baixa produtividade por operador, entre outros.

Com isso, apesar do cálculo inicial ser importante na implementação do sistema, a retirada dos cartões um a um será mais importante na otimização do fluxo e do nível de estoque, num contexto de melhoria contínua. Este aspecto está no escopo do projeto e os chefes de equipe realizarão a retirada progressiva dos cartões, analisando possíveis impactos e problemas, que devem ser endereçados e resolvidos antes da retirada do próximo cartão.

5.6 As Etapas da Implementação

O estudo e a determinação dos principais parâmetros do sistema *kanban* foram realizados pela autora com a colaboração dos demais membros da equipe de Engenharia Industrial, e apresentados à Direção de Produção para aprovação. Uma vez aprovado, o sistema foi implementado em etapas envolvendo: comunicação aos operadores, treinamento no sistema *kanban* e implementação em duas fases.

Algumas dificuldades foram encontradas durante a fase de comunicação e implementação. A resistência à mudança por parte dos operadores das cortadeiras foi a principal delas, e a dificuldade de adaptação à mentalidade enxuta foi outro obstáculo importante. As próximas seções detalharão o processo de comunicação e implementação, realçando os principais obstáculos encontrados e as ações utilizadas para contorná-los.

5.6.1 Comunicação e Treinamento

Toda a etapa de comunicação foi efetuada pela autora, em colaboração com os gerentes das duas áreas: fabricação de componentes e acabamento. Esta comunicação foi iniciada em meados de maio de 2008, a fim de que os operadores se familiarizassem com o conceito da produção enxuta e o novo fluxo das lonas de topo.

A comunicação foi efetuada a todas as equipes, sendo feita em dois dias diferentes, às 7 horas da manhã e às 7 horas da noite, a fim de cobrir as quatro equipes. Foram apresentados

os conceitos mais importantes do sistema *kanban* e da produção enxuta, bem como os procedimentos a serem seguidos, contendo as principais regras apresentadas nas seções anteriores.

Iniciou-se também um piloto para treinamento dos operadores no novo sistema, colocando cartões para apenas uma das dimensões de pneus, produzida em apenas uma máquina de acabamento. Este piloto visava fazer com que os operadores, tanto das cortadeiras quanto das máquinas de acabamento se familiarizassem com o fluxo de cartões e de containers.

Diversas dificuldades foram encontradas nesta primeira etapa do processo de implementação, relacionada principalmente à resistência dos operadores às mudanças propostas.

Os operadores das máquinas de acabamento, perceberam logo de início os benefícios que o sistema traria para o seu dia-a-dia: produtos sempre disponíveis nas cortadeiras, sem ter que procurá-los em todo o chão de fábrica e a melhor organização dos carros ao lado das máquinas, facilitando a movimentação interna. Para os operadores das cortadeiras, porém, os benefícios do novo sistema eram menos perceptíveis, e inicialmente eles não conseguiram visualizar os benefícios que foram apresentados. Assim, grande parte da resistência à implementação do sistema foi originada nas próprias cortadeiras.

A resistência à mudança é um aspecto importante na implementação e no gerenciamento de qualquer novo sistema, e deve ser levada em consideração. Negligenciar o aspecto humano em qualquer mudança é colocar em risco o sucesso do projeto.

As reclamações dos operadores em relação ao sistema foram ouvidas e consideradas. Os objetivos do sistema bem como os benefícios esperados foram apresentados diversas vezes, visando combater a resistência e apresentar explicações para alguns aspectos que para estes operadores não estavam claros.

O principal receio dos operadores das cortadeiras era o aumento do número de *setups* necessários por dia, com o sistema *kanban*. Conforme explicado anteriormente, as mudanças de ângulo e de rolo mestre implicam em uma perda de material, que é controlada diariamente pelo departamento de qualidade, comparando o realizado ao objetivo esperado. Com isso, o aumento do número de *setups* poderia implicar em um aumento das perdas.

Outra reclamação recorrente era o fato de que, no sistema antigo de produção empurrada, os operadores eram estimulados a produzir continuamente, tendo um objetivo de produção de 38 bobinas por operador por turno. Assim, quando terminavam a lista de produção, deveriam refazer o inventário físico e recomençar a produção. Muitas vezes, isso significava superprodução ou a produção de lonas de topo que não eram necessárias, já que o objetivo era interpretado e medido pela quantidade absoluta produzida, e não pela produção do produto certo.

O que foi passado aos operadores durante a comunicação é que 38 bobinas de algo que não é necessário naquele momento não significa nada. Isso porque, mesmo com esse objetivo bastante superior à demanda real, ainda se observava um tempo elevado de espera por falta de lonas de topo, mostrando que a produção se fazia no momento errado.

Neste contexto, quando apresentamos o novo sistema, onde se produz apenas o necessário e na quantidade necessária, e que a produção deve ser parada se não houver cartões no quadro, os operadores imediatamente questionaram o sistema. Acostumados a uma mentalidade da produção empurrada, a aceitação do novo sistema parecia impossível e os benefícios irrelevantes.

Toda essa resistência representou um fator marcante na implementação do novo sistema. O aspecto humano das mudanças é algo que muitas vezes não levamos em consideração no estudo e no desenvolvimento do projeto, mas que é fundamental para o sucesso do mesmo. Entender as necessidades dos operadores, solucionar suas dúvidas e desta forma ganhar a confiança foi um fator chave no sucesso deste projeto.

Para isso, foi de extrema importância passar a maior parte do tempo no chão de fábrica, mostrando os princípios e os benefícios da produção enxuta e mostrando que a idéia do novo sistema era melhorar o desempenho e a produtividade dentro da fábrica. Somente quando os operadores passaram a confiar no projeto e acreditar que os resultados seriam benéficos, é que o sistema realmente começou a funcionar, como será descrito nas próximas seções.

De modo geral, os operadores das cortadeiras aceitaram cooperar com a implementação do projeto, mesmo sem estar completamente convencidos dos benefícios que seriam trazidos com o novo sistema. Uma equipe porém, composta pelos operadores mais

experientes, apresentou maior resistência à mudança, sendo necessário até a intervenção do gerente da área.

Por fim, é importante salientar que a comunicação foi feita antes e durante a implementação.

5.6.2 Implementação em Duas Fases

A direção da fábrica optou por uma implementação em duas fases, para reduzir os riscos de “pane” do novo sistema. O receio era que houvesse problemas na execução e na aceitação dos operadores, já que muita resistência foi percebida durante a comunicação. No momento da implementação da primeira fase, porém, os operadores já estavam mais familiarizados com a nova proposta e se mostravam dispostos a cooperar.

A primeira fase da implementação incluiu as lonas de topo utilizadas na fabricação das dimensões 1, 2 e 3. Estas três dimensões eram produzidas em 10 das 16 máquinas de acabamento, e representavam 48% do número de bobinas produzidas nas cortadeiras por dia. Para as lonas de topo das demais dimensões, os operadores das cortadeiras deveriam continuar a utilizar a lista de produção, baseada na programação da demanda e no inventário físico.

Os resultados logo na primeira semana foram bastante animadores e o principal problema encontrado por alguns dos operadores das cortadeiras foi o fato de terem que trabalhar com o sistema antigo e o novo simultaneamente. Realmente, era difícil para os operadores decidirem o que produzir antes: os cartões que estavam no quadro ou os artigos da lista de produção. Para facilitar esta escolha, foi apresentado um procedimento de priorização relacionando os dois sistemas.

Outro problema percebido na primeira semana foi a utilização incorreta dos cartões pelos operadores das máquinas de acabamento. Apesar da comunicação e do treinamento em relação ao fluxo dos cartões, muitos operadores ainda colocavam os cartões no mesmo horário da retirada, ao invés de colocá-lo no turno seguinte. Isso ocorria não apenas por desatenção e mau entendimento, mas também pela existência de novos funcionários ou o retorno de funcionários que estavam de férias ou de licença no momento da comunicação. A atuação dos operadores das cortadeiras que percebiam estes erros foi fundamental para a resolução do problema.

Além disso, os chefes de equipe também tiveram papel fundamental na implementação do novo sistema, transmitindo para a equipe os erros cometidos nos turnos da noite ou nos finais de semana, por exemplo, visando a melhoria do sistema e a solução dos pequenos problemas.

Nesta etapa do processo de implementação, tanto os operadores das cortadeiras quanto os das máquinas de acabamento queriam a implementação completa do sistema. Os operadores das máquinas de acabamento já haviam percebido desde o início os benefícios do novo sistema, e eram adeptos à implementação completa o mais rápido possível.

Os operadores das cortadeiras ainda permaneciam receosos, sem acreditar completamente no sucesso do projeto. Porém, a utilização dos dois sistemas era ainda mais problemática e eles passaram a querer que todas as dimensões fossem inseridas no novo sistema, ou seja, que apenas um sistema fosse utilizado. Além disso, alguns dos operadores das cortadeiras começaram a mostrar empolgação com os bons resultados e passaram a apoiar o novo sistema.

Deste modo, a inserção de todas as dimensões no sistema *kanban* foi realizada no dia 22 de julho, duas semanas após o início da implementação. Já com uma resistência muito menor e com uma confiança maior por parte dos operadores, os resultados logo na primeira semana foram excepcionais e superaram a expectativa de todos. O tempo de parada da produção devido à falta de lonas de topo foi reduzido consideravelmente e o fluxo destes componentes foi otimizado.

Apesar disso, a mudança de mentalidade de um sistema de produção empurrado para um sistema de produção puxado exigia muita comunicação e adaptações.

O objetivo de produção de 38 bobinas por operador e por turno ainda se fazia presente na cabeça dos operadores. Houve a necessidade de rever os indicadores utilizados e reestruturar a forma como a eficiência destes operadores seria medida, passando de uma mentalidade de produção empurrada para uma mentalidade de produção enxuta. Este indicador de produtividade foi eliminado, utilizando-se apenas os indicadores de tempo de parada das máquinas de acabamento por falta de lonas de topo.

Outro ponto importante foi a cooperação entre os operadores das cortadeiras. No sistema antigo, estes operadores estavam acostumados a produzir apenas o que estava em sua

lista de produção, sem ajudar os outros operadores no caso de desequilíbrio na carga de produção. Com o quadro único, a idéia era que os operadores trabalhassem em equipe, dividindo a carga de trabalho igualmente e produzindo o que fosse necessário no momento em fosse necessário, independente de qual lona de topo se tratava.

Apesar da intensa comunicação neste sentido, os operadores ainda mantinham a idéia de produzir as lonas de topo que consideravam “suas”, pois eram anteriormente definidas e produzidas em suas cortadeiras. Mais uma vez, os chefes de equipe e o gerente da área desempenharam um papel importante no desenvolvimento do senso de equipe: se ocorrer a parada da produção devido à falta de uma lona de topo, a responsabilidade é de todos os operadores das cortadeiras, e não mais daquele que deveria produzi-la.

O trabalho em equipe e a polivalência passaram a ser estimulados e exigidos diariamente. Algumas equipes aceitaram rapidamente este novo princípio de trabalho, porém para outras esta mudança de mentalidade foi um pouco mais lenta, exigindo maior intervenção dos superiores.

A **Figura 5.5** mostra a utilização do quadro *kanban* após a implementação completa do sistema. O relógio no centro do quadro mostra o horário em que a foto foi tirada: 1:44 p.m. (turno da manhã). Os cartões que deveriam ser produzidos até o meio-dia já tinham sido produzidos, e por isso o quadro está vazio nas horas correspondentes ao início do turno da manhã. Os operadores das cortadeiras trabalham agora na produção dos cartões que estão no quadro para o restante do turno. Simultaneamente, os cartões correspondentes aos *containers* retirados pelos operadores das máquinas de acabamento durante as primeiras horas do turno da manhã, são colocados no quadro 12 horas à frente, ou seja, no turno da noite (*E-Shift*).



Figura 5.5 : Quadro *kanban*

5.7 Implementação do Kanban na Cortadeira de Lonas Carça

Com a obtenção de resultados positivos com a implementação do sistema *kanban* nas cortadeiras que produzem as lonas de topo, o novo sistema foi rapidamente estendido para a cortadeira que produz lonas carça. Esta cortadeira não fez parte do escopo inicial do processo, pois os postos clientes são diferentes: as lonas carça são utilizadas nas máquinas de confecção enquanto as lonas de topo são utilizadas nas de acabamento. Assim, o fluxo é diferente para os dois tipos de componentes.

A produção das lonas carça é realizada em apenas uma cortadeira, que corta apenas em ângulo 90°. Diferentemente das lonas de topo, cada pneu é composto por apenas uma lona carça, fazendo com que a complexidade deste fluxo seja bastante inferior. As lonas carça também são transportadas em forma de bobinas e a quantidade de pneus que pode ser fabricada por cada bobina também depende do tipo de rolo mestre e dimensão do pneu. Porém, o transporte é mais simples, uma vez que cada carro comporta apenas uma bobina. Vale mostrar que os carros de transporte das lonas carça são diferentes dos que transportam

as lonas de topo. Assim, o fluxo das lonas carcaça é totalmente independente do fluxo das lonas de topo.

Neste caso, o cartão *kanban* corresponde a apenas uma bobina e o carro (container) também transporta apenas uma bobina por vez. Foi desenvolvido um quadro *kanban* semelhante ao apresentado para as lonas de topo. Foi decidido criar um quadro diferente para este processo, já que os fluxos são totalmente independentes. Até por uma questão de localização, decidiu-se que outro quadro seria necessário e seria colocado ao lado da cortadeira de lonas carcaça.

Devido às características apresentadas, percebe-se que a implementação do sistema no fluxo de produção das lonas carcaça *kanban* foi bastante simplificada. Além de um fluxo mais simples, os operadores da cortadeira já estavam habituados ao novo sistema, devido ao contato direto com os outros operadores. Deste modo, a comunicação foi concentrada nos operadores das máquinas de confecção.

A implementação do sistema *kanban* no fluxo das lonas carcaça foi concluída em meados de agosto.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos após a implementação do projeto foram bastante satisfatórios desde a primeira semana de implementação. Os resultados que serão apresentados nesta seção foram compilados após um mês da implementação completa do sistema *kanban*.

Os benefícios provenientes do novo sistema foram tanto de ordem qualitativa quanto quantitativa. Os elementos quantitativos parecem mais significativos, dada a relevância dos números apresentados. Porém, os aspectos qualitativos observados também são de extrema importância na otimização do sistema de produção e do fluxo de componentes dentro da fábrica.

Além dos resultados, os planos desenvolvidos para a ampliação do sistema *kanban* para outros setores da fábrica também serão discutidos neste capítulo.

6.1 Resultados Quantitativos

Ganhos Potenciais

O tempo de parada da produção nas máquinas de acabamento devido à falta de lonas de topo foi reduzido de 150 minutos por dia, em média, a 22 minutos por dia após a implementação do *kanban*. A **Figura 6.1** mostra a evolução deste indicador desde o início do ano, até o final de agosto, um mês após a implementação do sistema *kanban*.

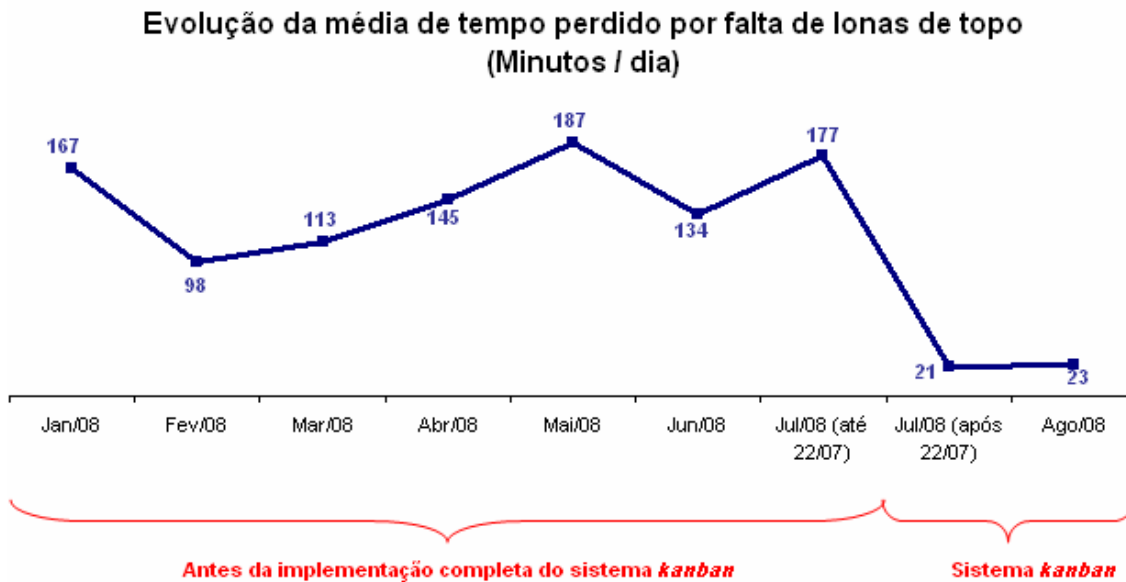


Figura 6.1 : Gráfico da evolução do tempo médio perdido por falta de lonas de topo antes e depois da implementação do sistema *kanban*.

Conforme mencionado anteriormente, o mercado para este tipo de pneu é caracterizado por uma demanda superior a oferta. Deste modo, a restrição das vendas é a capacidade produtiva e considera-se que cada pneu extra produzido será vendido. Isto significa que a redução do tempo perdido por falta de lonas de topo permite um aumento do tempo disponível para produção. O cálculo a seguir mostra os ganhos potenciais obtidos com esta redução no tempo improdutivo, através da análise do número de pneus extras que podem ser produzidos e os ganhos potenciais da venda destes pneus:

Premissas:

- As máquinas de acabamento representam o posto gargalo da fábrica;
- Não existe nenhum custo de mão de obra adicional.

Dados utilizados (os valores serão omitidos por questões de confidencialidade):

- Tempo necessário para a produção de um pneu (T);
- Custo de matéria prima por pneu (C);
- Preço de venda por pneu (V).

Cálculo dos ganhos anuais (G):

$$G = \underbrace{\frac{(150 - 22) \times 360}{T}}_{\text{Pneus extra produzidos}} \times \underbrace{(V - C)}_{\text{Margem}}$$

Com base nos dados acima, os ganhos potenciais anuais são estimados em aproximadamente **US\$ 2,5 milhões**.

Vale ressaltar que o projeto foi desenvolvido e implementado sem nenhum custo para a empresa, ou seja, sem nenhum investimento inicial. Com isso, os ganhos bastante expressivos se tornam ainda mais importantes, já que não houve investimento.

Esta é uma importante característica do sistema *kanban*: é um sistema fácil, relativamente rápido de ser implementado, e com custos de implementação próximos de zero. O *kanban* é ainda um dos sistemas mais eficientes na reorganização do fluxo de produção.

Redução do número de setups

Uma das grandes preocupações dos operadores e do departamento de qualidade em relação ao sistema *kanban* era o aumento significativo do número de trocas de ângulo e de rolo mestre nas cortadeiras, para atender à demanda apresentada no quadro *kanban*. O impacto do aumento da quantidade de trocas seria um aumento dos rejeitos significando perdas importantes de material.

A equipe porém, acreditava que pudesse haver um pequeno aumento no número de trocas após a implementação do *kanban*, sem que pudesse causar uma perda significativa de material. Além disso, acreditava-se que talvez estas perdas fossem mais importantes no início da implementação, mas que com o passar do tempo e com a maior familiaridade dos operadores em relação ao sistema, estas perdas seriam minimizadas, voltando aos patamares do antigo sistema.

De qualquer forma, diminuir o número de *setups* necessários não estava incluso no escopo deste projeto. Contrariando as expectativas iniciais, os resultados após um mês de implementação mostraram que houve uma redução de 10% no número de trocas de rolos

mestre e de 9% na quantidade de mudanças de ângulos nas cortadeiras, em relação à Junho de 2008. A **Figura 6.2** mostra a evolução destes dois indicadores de maio de 2008 até um mês após a implementação do sistema *kanban* (os dados depois da implementação do *kanban* são referentes ao período de 22 de julho a 18 de agosto de 2008).

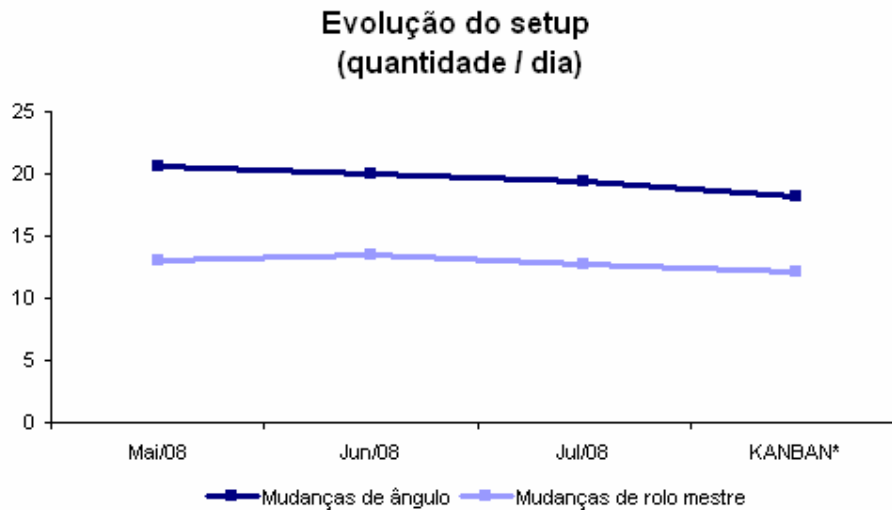


Figura 6.2 : Gráfico da evolução do número de *setups* realizados antes e depois da implementação do *kanban*

Analisando estes resultados é possível perceber que a priorização e o sequenciamento da produção no sistema *kanban* permitiram aos operadores fazerem mais combinações reduzindo a quantidade de trocas necessárias, sem prejudicar a disponibilidade dos componentes.

No antigo sistema, devido aos problemas mencionados anteriormente, a falta de um determinado tipo de lona de topo ocorria com frequência. Os operadores das máquinas de acabamento comunicavam aos operadores das cortadeiras o que necessitavam e estes últimos, em geral, mudavam a produção para atenderem as necessidades do posto subsequente.

Em consequência disso, as mudanças de ângulo e de rolo mestre eram realizadas diversas vezes em um mesmo turno, na tentativa de atender as necessidades de todas as máquinas de acabamento. Novamente, não se tratava de um problema de falta de capacidade instalada, mas sim de problemas no sequenciamento e na priorização da produção, causados principalmente pela própria produção empurrada e pelas imprecisões do inventário físico.

Com o sistema *kanban*, há mais flexibilidade para a realização de combinações no momento da produção, a fim de reduzir a quantidade de trocas necessárias. Com uma visão mais precisa e consistente das prioridades e do momento no qual a reposição deve ser realizada, dificilmente ocorre a falta de um produto. Além disso, o *lead time* de 12 horas no quadro *kanban* garante uma maior flexibilidade devido a um fator de segurança relevante.

Por tudo isso, foi possível diminuir a quantidade de *setups* realizados. Além da redução das perdas de material e de tempo de troca, os operadores das cortadeiras passaram a ter maior controle do sequenciamento da produção e de defini-lo no início de cada turno, sem que fossem necessárias mudanças no decorrer do seu turno.

6.2 Resultados Qualitativos

Controle Visual

Um dos principais ganhos obtidos com o *kanban* foi o controle visual da produção. Este controle visual facilita o gerenciamento da produção e do fluxo de produtos não apenas pelos chefes de equipe, mas principalmente pelos próprios operadores.

Através do quadro *kanban* os operadores das cortadeiras podem identificar atrasos na produção e modificar o sequenciamento da produção imediatamente. Além disso, este controle visual permite maior cooperação e comunicação entre esses operadores, fazendo com que o trabalho do grupo seja otimizado.

A maior visibilidade da produção e dos componentes também facilita o trabalho dos operadores das máquinas de acabamento. Primeiramente, a área de estocagem ao lado das cortadeiras passou a ser mais organizada e os cartões *kanban* fixados aos *containers* facilitam a identificação dos carros, agilizando o processo de retirada das lonas de topo. Não existe mais a necessidade de procurar as lonas de topo por todo o chão de fábrica, já que elas devem sempre estar disponíveis nas cortadeiras.

Além disso, a comunicação entre estes operadores e os operadores das cortadeiras também é facilitada, já que o quadro *kanban* indica claramente a seqüência em que as lonas de topo serão produzidas e se existe ou não um atraso nas cortadeiras.

Para os chefes de equipe, o sistema *kanban* facilita o gerenciamento de todo o processo, já que é visualmente perceptível qualquer atraso ou problema nas cortadeiras. Também são facilmente controláveis problemas nas máquinas de acabamento. Por exemplo: se existem mais de três carros ao lado de uma destas máquinas, fica claro que existe algum erro, como a retirada de produtos antes de haver a necessidade de utilizá-los.

O quadro *kanban* é também um importante controle visual quando um turno apresenta elevada ou baixa carga de produção. No caso de elevada produção, o chefe de equipe pode monitorar mais facilmente o ritmo da produção e até optar por trazer outro operador de outro setor para ajudar nas cortadeiras. No caso de baixa produção, o chefe de equipe pode identificar atividades que devem ser realizadas por cada operador ao final da produção, de acordo com as necessidades: 5S, manutenção preventiva, rodízio nas cortadeiras.

Um último aspecto importante é o controle visual dos cartões *kanban*. Conforme apresentado anteriormente, os cartões devem ser colocados no quadro *kanban* antes do *container* ser levado a uma máquina de acabamento. Deste modo, nenhum cartão deve estar próximo destas máquinas. Com isso, é visualmente simples detectar qualquer erro desta ordem e corrigi-lo. Os próprios operadores podem identificar este erro e trazer o cartão de volta ao quadro, no caso de ter sido levado por engano juntamente com o *container* a uma máquina de acabamento.

Inventário Físico

O inventário físico realizado pelo menos uma vez ao dia no antigo sistema foi completamente abolido. Lembrando que cada inventário físico variava entre 45 a 60 minutos e era realizado por um dos operadores, os ganhos são bastante significativos.

Além disso, os operadores relatavam diversos problemas na confiabilidade do estoque obtido através do inventário físico, já que este era realizado enquanto a fábrica funcionava, ou seja, com a movimentação constante dos carros.

O sistema *kanban* permitiu a eliminação deste inventário físico, uma atividade que não agregava valor ao produto.

Flexibilidade na Produção e Colaboração

A utilização de apenas um quadro *kanban* para as três cortadeiras permitiu a maior flexibilidade da produção e colaboração entre os operadores das cortadeiras. Isto porque os operadores passaram a ser incentivados a produzirem o que fosse necessário e não o que estavam acostumados a produzir em suas máquinas.

Mudar a mentalidade de que a produção de um determinado tipo de lona de topo pertence a uma única cortadeira foi um desafio importante e um processo lento. Um mês após a implementação, algumas equipes trabalhavam muito bem como um time, mas algumas equipes ainda resistiam em trabalhar em equipe, ainda visando produzir apenas os “seus produtos”.

Apesar disso, os benefícios já eram visíveis e esta flexibilidade revelou uma capacidade de produção extra, antes inutilizada pelo próprio sistema: quando a lista de produção de uma cortadeira era muito baixa, por exemplo 20 bobinas, o operador as produzia lentamente, levando o turno inteiro para produzir apenas 20 bobinas. Enquanto isso, ocorria com frequência a falta de lonas de topo produzidas em outra cortadeira, devido à sobrecarga.

Neste contexto, muitos questionavam a falta de capacidade instalada, justificando assim estas faltas. O sistema *kanban* mostrou que a capacidade instalada era mais do que suficiente para a demanda atual, mas que a capacidade era muitas vezes mal utilizada.

Além da flexibilidade e da conseqüente produtividade obtida, o sistema *kanban* possibilitou também desenvolver o senso de equipe e de colaboração. Pouco a pouco os operadores passaram a cooperar mais entre si, impulsionados pelos bons resultados obtidos e pelo reconhecimento do seu trabalho. Isto foi muito importante para o sucesso do projeto e é com certeza um dos pilares indispensáveis da produção enxuta.

Autonomia

Com o sistema *kanban*, os operadores das cortadeiras passaram a ter mais autonomia em relação ao seu trabalho, ao sequenciamento da sua produção e às atividades extras que passaram a desenvolver.

Os operadores passaram a serem responsáveis pelo gerenciamento das prioridades e pelo sequenciamento da produção, bem como da divisão do trabalho entre os três operadores trabalhando a cada turno.

Além disso, quando a produção é finalizada, cabe a cada um definir quais atividades devem ser desenvolvida, de acordo com os objetivos definidos com o gerente da área.

Melhoria Contínua

O sistema *kanban* trouxe a necessidade de estruturar um sistema de melhorias contínuas dentro da fábrica. A principal razão foi o fato do novo sistema revelar diversos problemas no processo produtivo como: tempos de *setup*, falta de embalagens, discrepâncias entre as cortadeiras, falta funcionários polivalentes, restrições nas cortadeiras que não deveriam existir, entre outros.

Conversando com os operadores e com os próprios técnicos em qualidade da fábrica, percebe-se rapidamente que existe uma resistência à proposição de melhorias. Como a maioria destes funcionários trabalha na fábrica há muitos anos, para todas as sugestões a primeira resposta é: “Já tentamos isso e não dá certo” ou “Não adianta pois nada vai mudar”.

Esse pessimismo é muitas vezes baseado em projetos que realmente não deram certo. Porém, a realidade da fábrica é outra, o contexto é diferente e muitas das pessoas que trabalham lá são diferentes também. Assim, um projeto que não obteve sucesso há dez anos atrás, pode ser retomado com sucesso neste momento.

A idéia de trazer autonomia aos operadores das cortadeiras era também de trazer a possibilidade deles contribuírem na identificação de problemas e na sugestão de soluções.

Para isto, foi criada uma breve reunião semanal com cada uma das quatro equipes de operadores das cortadeiras para a sugestão de melhorias e o acompanhamento das proposições mencionadas nas semanas anteriores.

Logo nas primeiras semanas alguns problemas foram identificados e a maior parte tratava-se de pequenas e rápidas ações, com resultados importantes para o trabalho quotidiano dos operadores. Entre as melhorias propostas pode-se citar:

- Alguns tipos de lonas de topo demoravam quase o dobro do tempo para serem produzidas em uma cortadeira do que em outra. Este problema não havia sido mencionado anteriormente, pois estas lonas eram produzidas em apenas uma cortadeira, sem que houvesse a necessidade de solucionar o problema. O engenheiro elétrico responsável pela programação foi contatado e uma pequena mudança na variável de avanço da máquina, inserida na programação, permitiu reduzir e igualar o tempo de produção nas três cortadeiras;
- Os operadores mencionaram também a falta de embalagens de tecido utilizadas na produção das lonas de topo. O responsável pelo aprovisionamento deste tipo de material foi solicitado e afirmou que havia muito tecido disponível e que era necessário apenas cortá-lo. Rapidamente, as novas embalagens foram colocadas a disposição dos operadores;
- As cintas que movimentam o material na mesa de corte de uma das cortadeiras haviam sido retiradas em determinada época, para substituírem cintas defeituosas em outra cortadeira. Estas cintas nunca foram repostas o que dificultava um pouco o trabalho do operador que tinha que realizar mais esforços manuais. Além disso, alguns tipos de lonas de topo não podiam ser produzidos nesta cortadeira, pois a largura era muito grande, atingindo um ponto da mesa onde não existiam as cintas de movimentação. O responsável da manutenção foi comunicado e as cintas foram repostas, já que estavam disponíveis no armazém. Novas cintas foram também encomendadas para que haja sempre um estoque para reposição;
- Uma das cortadeiras é mais recente, tendo sido adquirida em setembro de 2007. Quando foi instalada, o responsável técnico da área identificou diversos problemas, listando-os e enviando-os à equipe de projetos. O sistema de melhorias contínuas fez com que esta lista fosse retomada, endereçando a cada responsável o problema observado. Foram solicitados os prazos para o cumprimento das ações, bem como um *feedback* semanal do seu *status*. Algumas ações já estavam em andamento e apenas não haviam sido comunicadas, porém outras ainda estavam no papel.

O sistema de sugestões implementado consistia em uma lista contendo: a ação a ser realizada, a melhoria a ser obtida, a(s) cortadeira(s) envolvida(s), o responsável pela ação e o

status. Esta lista deveria ser acompanhada semanalmente e as novas sugestões de melhorias adicionadas na medida em que fossem identificadas.

A lista permanecia disponível no painel ao lado do quadro *kanban*, para que todos pudessem ter acesso ao andamento das melhorias. O gerente da área era o ponto de apoio dos operadores para identificar os responsáveis correspondentes a cada ação e no caso de possíveis atrasos na resolução dos problemas.

É importante apontar que este sistema foi relevante não apenas pelas melhorias que trouxe, mas também pela confiança e autonomia adquiridas pelos operadores que passaram a se sentirem ainda mais responsáveis pelo seu trabalho. Além disso, este processo desenvolve também o trabalho em equipe e a apropriação dos problemas por parte dos operadores, visando sempre otimizar as suas atividades e aumentar a sua produtividade.

Phase-In e Phase-Out

Os procedimentos de início e de parada da produção de lonas de topo de acordo com mudanças no *mix* de pneus produzidos (*Phase-In* e *Phase-Out*) também foram amplamente facilitados com a implementação do *kanban*.

Foi explicado na seção 4.3 como era feito a contagem regressiva das lonas que não deveriam mais ser produzidas e a introdução das lonas que deveriam iniciar a produção. Os chefes de equipe eram em geral responsáveis por todo este acompanhamento, tendo que realizar pelo menos um inventário físico por turno para fazer a contagem regressiva. Lembrando que no antigo sistema as lonas de topo poderiam estar em qualquer uma das 16 máquinas de acabamento, isto tornava o procedimento ainda mais lento e impreciso.

Com a introdução do sistema *kanban* este procedimento foi enormemente facilitado. O gerenciamento do estoque e a contagem regressiva poderiam ser feitos através dos próprios cartões *kanban*, localizados unicamente em três lugares: no quadro *kanban*, nas cortadeiras no momento da produção ou no carro completo estocado ao lado das cortadeiras. Caso houvesse dúvidas e fosse necessário um inventário físico, sabia-se que o produto estaria apenas na máquina em que seria utilizado, sendo necessário apenas checar nesta máquina e não em todo o chão de fábrica.

A introdução da lona de topo de uma nova dimensão de pneu era ainda mais fácil: bastava que o chefe de equipe colocasse o cartão no quadro *kanban* no horário desejado. Em

coerência ao sistema, os chefes de equipe foram instruídos a colocarem os cartões no quadro entre 8 e 12 horas antes do horário em que as primeiras lonas seriam utilizadas.

6.3 *Perspectivas e Oportunidades*

Após a implementação do projeto *kanban*, algumas melhorias ainda serão colocadas em prática nos próximos meses. Um exemplo interessante é uma ferramenta eletrônica para o cálculo da eficiência do operador das cortadeiras, de acordo com o que foi produzido e o tempo disponível para a produção.

Conforme mencionado anteriormente, um dos principais desafios da implementação do *kanban* foi a mudança de uma mentalidade de produção empurrada para uma mentalidade de produção puxada, onde só se produz o que for necessário.

Por esta razão, este indicador foi eliminado do acompanhamento diário deste departamento, sendo o resultado medido apenas pelo tempo de parada da produção no posto subsequente pela falta de lonas de topo. A necessidade de mudança dos indicadores de produtividade se fez presente desde o início.

Esta medida, embora seja um bom indicador de atendimento ao posto cliente, não permite analisar a eficiência dos operadores das cortadeiras. Desta maneira, a idéia é desenvolver uma ferramenta eletrônica que permita medir esta eficiência, de acordo não apenas com a quantidade absoluta produzida, mas sim em relação ao tempo de produção e a quantidade que deveria ser produzida.

Esta ferramenta utilizaria os dados que os operadores já inserem no sistema para determinar a sua eficiência. Estes dados são referentes aos motivos pelo qual a máquina pára. Ou seja, cada vez que a produção na cortadeira é interrompida, o operador tem que selecionar, obrigatoriamente, o motivo: troca de rolo mestre, mudança de ângulo, manutenção, falta de embalagem, almoço ou intervalos, entre outros. O sistema também registra, automaticamente, o código e a quantidade de bobinas produzidas por cortadeira e por turno.

Deste modo, a idéia é utilizar estes dados que já existem para calcular a eficiência do operador. O tempo padrão de produção de cada bobina, já existe no sistema, e o comparativo entre o tempo despendido na produção e o tempo padrão faria parte deste cálculo. Além disso,

através das informações relativas às paradas das cortadeiras, seria possível definir o tempo real de produção.

Para mostrar o impacto do sistema *kanban* na implementação desta ferramenta, quando um turno não está muito carregado e a produção termina antes do final do turno, o operador deveria imputar no sistema algo do tipo: “Fim da produção – Atividades 5S”. Desta maneira, este tempo não seria contabilizado no cálculo da eficiência.

Ao final do turno, cada operador poderia acessar automaticamente a sua eficiência, e saber diariamente como está o seu desempenho. O gerente da área seria responsável por identificar as metas de desempenho para os operadores e de acompanhá-las diariamente juntamente com os demais indicadores. Esta ferramenta já está sendo desenvolvida porém ainda não está disponível para utilização.

Outra ferramenta muito difundida na literatura mas que ainda não é adotada pela Michelin é o incentivo salarial relativo aos ganhos obtidos com a implementação do sistema de produção enxuta. Mukhopadhyay e Shanker (2005) ressaltam que um sistema baseado no incentivo salarial não é adequado pois incentivam as atividades em geral e não as atividades que agregam valor. Deste modo, os autores sugerem a utilização de um sistema de divisão dos ganhos obtidos com a implementação do *kanban* entre os operadores envolvidos.

Com isso, os operadores receberiam, além do seu salário mensal, uma parte dos ganhos obtidos com a redução dos custos através da implementação de ferramentas de produção enxuta. Novamente, a eficiência dos operadores será um indicador importante neste cálculo.

Neste novo sistema de remuneração variável, todos os operadores envolvidos deveriam receber a mesma quantia, uma vez que os ganhos seriam divididos igualmente. Isto é uma forma de também incentivar o trabalho em equipe. Vale a pena ressaltar que o papel do gerente do departamento seria muito importante para acompanhar o desempenho individual dos operadores, para garantir que haja uma consistência e uma certa uniformidade na eficiência de cada um.

Por fim, um sistema de remuneração deste tipo incentivaria e motivaria os operadores a implementar efetivamente melhorias no chão de fábrica, melhorando o desempenho global da operação.

Além de melhorias no departamento onde o projeto piloto foi implementado, existem também projetos de ampliação do sistema *kanban* e de outros conceitos de produção enxuta para os demais postos ao longo da cadeia.

Com o sistema implementado nas três cortadeiras que produzem lonas de topo e na cortadeira que produz as lonas carcaça, os próximos passos da ampliação do sistema de produção enxuta serão desenvolvidos nos postos subseqüentes e nos demais postos de fabricação de componentes. Por último, deseja-se estender o sistema de produção puxada aos fornecedores, principalmente às fábricas Michelin que são fornecedoras da fábrica de Lexington, como a US5 e a US2.

A Michelin também trabalha muito com a idéia de difusão de melhores práticas e o sistema *kanban* adaptado para a fábrica de Lexington, está sendo difundido para as demais fábricas de produção de pneus para Construção Civil e Mineração, especialmente para a nova fábrica no Brasil.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou o estudo e a implementação do sistema *kanban* em uma área piloto dentro de uma fábrica de pneus de grande porte do grupo Michelin, ressaltando os benefícios de um sistema de produção puxada.

Os problemas observados no processo antes da implementação do sistema *kanban* eram em geral problemas típicos de um sistema de produção empurrada. Além dos desperdícios provenientes de atividades que não agregam valor e da perda de tempo e de material, a complexidade e a variedade de componentes também foi abordada como fator importante no desenvolvimento do projeto.

O sistema *kanban* foi a ferramenta principal deste projeto. Esta ferramenta é conhecida pela sua relativa facilidade de implementação e baixo custo, além de resultados importantes. Visando um fluxo de produção puxada pela demanda do posto subsequente, o sistema *kanban* permitiu a eliminação de desperdícios, a total priorização da produção e a redução do número de *setups*.

Com isto, os ganhos bastante expressivos em termos de produtividade e de redução de perda de material foram observados logo após a implementação completa do sistema. Outros conceitos de produção enxuta também foram implementados, como o 5S, o *kaizen* e o SMED. Todas estas ferramentas foram utilizadas como complemento ao sistema *kanban* e também foram fundamentais na obtenção dos resultados mencionados no capítulo 6.

Além do aspecto técnico da implementação do sistema *kanban*, este trabalho visou abordar também o aspecto humano de uma mudança deste tipo. A resistência à mudança representou um fator importante nesta implementação e teve que ser trabalhada com gestores e operadores. O comprometimento dos operadores foi fundamental no sucesso do projeto.

Esta abordagem é de extrema importância pois pode ser uma das explicações para possíveis fracassos na implementação deste sistema. Neste trabalho foi mencionado que um sistema *kanban* foi implementado em outra fábrica da Michelin, a US5 sem obter sucesso. Uma das falhas pode estar vinculada ao comprometimento dos operadores em relação às mudanças propostas. Tanto o sistema de produção puxada quando o de produção empurrada não podem ser considerados apenas um meio de produção. Existe por trás destes conceitos

uma mentalidade que é inserida na cultura de operadores e gestores. Assim, não é apenas o sistema que deve ser modificado, mas também a mentalidade que envolve este sistema.

A comunicação aos operadores desde o desenvolvimento do projeto foi fundamental. Neste contexto, outra ferramenta interessante é o sistema de sugestões voltado para a melhoria contínua. Os operadores passam a se sentir mais responsáveis pelo seu trabalho, buscando sempre melhorar o seu desempenho e a sua produtividade.

É importante ressaltar que esta mudança de mentalidade será também fundamental na extensão destes conceitos aos outros setores dentro da fábrica. Os benefícios trazidos pelo projeto piloto são naturalmente disseminados aos outros operadores, motivando-os a cooperar com a ampliação do novo sistema. Um dos desafios da fábrica é estender o sistema *kanban* aos postos subseqüentes e às demais áreas de fabricação de componentes, adaptando os estudos desenvolvidos no projeto piloto. O objetivo final é integrar toda a cadeia produtiva, desde os fornecedores até os clientes, através da produção enxuta e puxada pela demanda do cliente final.

Finalmente, a aplicação dos conceitos da produção enxuta podem ser aplicados com sucesso em diferentes setores industriais. Em qualquer setor, a redução de custos através da eliminação de desperdícios é fundamental para o bom desempenho da empresa. Este projeto mostrou que com a aplicação destes conceitos, ganhos consideráveis podem ser obtidos sem que nenhum investimento significativo seja necessário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LOUIS, R. S. **Integrating Kanban with MRP II: Automating a Pull System for Enhanced JIT Inventory Management.** Productivity Press: Portland, 1997.

MONDEN Y. **Sistema Toyota de Produção.** IMAM: São Paulo, 1984.

MUKHOPADHYAY S. K.; SHANKER S. **Kanban implementation at a tyre manufacturing plant:** a case study. Production Planning & Control, vol. 16, n. 5, p. 488-499, jul. 2005.

NAKHLA, M. **L'essentiel du Management Industriel.** Dunod : Paris, 2006.

PEINADO J.; GRAEML A. R. **Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços.** UnicenP: Curitiba, 2007.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar – Mapeando o Fluxo de Valor para Agregar Valor e Eliminar o Desperdício.** Lean Institute Brasil: São Paulo, 2003.

SHINGO, S. **A Revolution in Manufacturing: The SMED System.** Productivity Press: Cambridge, 1985.

SHINGO, S. **O Sistema de Troca Rápida de Ferramentas.** Bookman Editora: Porto Alegre, 2000.

THE PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM. **Kanban for the Shop Floor.** Productivity Press: New York, 2002.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Máquina que Mudou o Mondo**. Campus: Rio de Janeiro, 1992.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Soluções Enxutas**. Campus: Rio de Janeiro, 2006.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**: elimine o desperdício e crie riqueza. Campus: Rio de Janeiro, 1998.

GRUPO MICHELIN: <www.michelin.com>

LEAN INSTITUTE BRAZIL <<http://www.lean.org.br>>