

PAULA LUCI PELEGRINO

REDUÇÃO DE *LEAD TIME* E AUMENTO DA CAPACIDADE NA  
PRODUÇÃO DE ROLOS GUIAS PARA MÁQUINA DE PAPEL

São Paulo  
2007



PAULA LUCI PELEGRINO

REDUÇÃO DE *LEAD TIME* E AUMENTO DA CAPACIDADE NA  
PRODUÇÃO DE ROLOS GUIAS PARA MÁQUINA DE PAPEL

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

São Paulo  
2007



PAULA LUCI PELEGRINO

REDUÇÃO DE *LEAD TIME* E AUMENTO DA CAPACIDADE NA  
PRODUÇÃO DE ROLOS GUIAS PARA MÁQUINA DE PAPEL

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

Orientador:  
Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake

São Paulo  
2007



## DEDICATÓRIA

A minha família e ao meu namorado, fontes  
de inspiração, que preenchem a minha vida  
com motivação e alegria.



## AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível graças à ajuda direta e indireta de muitas pessoas. Meus sinceros agradecimentos a todas elas:

A minha família, pelo constante apoio e estímulo, imprescindíveis para a conclusão deste trabalho.

Ao Professor Dario Ikuo Miyake, pela orientação, dedicação e contribuição a este trabalho.

Aos meus superiores, por permitirem a realização deste trabalho na empresa. E aos colegas do departamento e da fábrica, por compartilharem os seus conhecimentos e me apoiarem durante a realização deste trabalho.

Ao meu namorado, Stefan Feigh, que apesar da distância acompanhou todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho, me incentivando a todo o momento.

E a todos que de alguma forma colaboraram na realização deste trabalho.



*You see things; and you say, "Why?" But I dream  
things that never were; and I say, "Why not?"*

(George Bernard Shaw)



## RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo sobre produtividade industrial em uma empresa de máquinas e equipamentos para máquina de papel. Partindo de uma perspectiva de fluxo de valor, o objetivo foi reduzir o *lead time* e aumentar a capacidade na produção de rolos guias para máquina de papel. Para isso, foi desenhado o Mapa do Fluxo de Valor do Estado Atual, incluindo todos os processos de fabricação, desde o estoque de chapas até a expedição. E em seguida foi delineado um Mapa do Estado Futuro, apresentando como o valor deveria fluir nesta linha e quais melhorias seriam necessárias para atingi-lo. Para reduzir o *lead time* foram estudadas algumas possibilidades para diminuir o estoque de chapas depois da máquina de corte. As quebras freqüentes e aleatórias desta máquina geram a necessidade de um estoque médio de dois dias, a fim de evitar que o processo cliente – a prensa - fique sem abastecimento. A partir desta constatação, foram propostas melhorias para aumentar a confiabilidade da máquina. Para o estudo do aumento da produção foi identificado o gargalo da linha, que neste caso é a célula de usinagem. Para a operação de desbaste foi aplicada a técnica SMED a fim de reduzir o tempo de *setup* e trazer o tempo de ciclo desta operação compatível ao *takt time* dos rolos fabricados. Apesar do avanço já obtido com as propostas de melhoria, o estado futuro ainda não foi plenamente atingido, mas algumas melhorias que não puderam ser realizadas foram delineadas e justificadas. No final deste trabalho são apresentados os resultados obtidos e a conclusão sobre a importância das metodologias utilizadas.

Palavras-Chave: Produtividade. Produção Enxuta. Mapeamento do Fluxo de Valor. SMED.



## ABSTRACT

This paper presents a study of industrial productivity improvement in a company of machines and equipment for paper machine. From a perspective of value stream, the goal was to reduce the lead time and to increase the production from guide rolls for paper machine. In order to achieve this goal, the Current State Value Stream Map was drawn, including all the manufacture processes, from the steel plate stock to the expedition. After that was delineated a Future State Value Stream Map, presenting as the value would have to flow in this line and which improvements would be necessary to reach it. For the reduction of the lead time were studied the possibilities to have a smaller steel plate stock after the cutting machine. The frequent and random failures of this machine generate the necessity of an average stock of two days, in order to prevent that the process customer - the press - is without supplying. Considering that, it was proposed to improve the reliability of the machine. To increase die production, first of all, the bottleneck of the line was identified, which in this case is the machining cell. For the roughing operation it was applied the SMED methodology, in order to reduce the setup time and to bring the cycle time of this operation under the takt time. Despite the advance gotten with the improvements proposals, the future state value stream map was not yet fully reached, since some improvements could not be realized and have been justified. At the end of this paper, the obtained results and a conclusion of the importance of the used methodologies are presented.

Keywords: Productivity. Lean Production. Value Stream Mapping. SMED



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.	JUSTIFICATIVA .....	2
1.2.	OBJETIVO .....	4
1.3.	A EMPRESA .....	5
1.3.1.	A MÁQUINA DE PAPEL .....	5
1.3.2.	O MERCADO DE MÁQUINAS DE PAPEL .....	9
1.3.3.	O SISTEMA <i>LEAN</i> NA EMPRESA EM ESTUDO .....	11
1.3.4.	DESCRIÇÃO DA PLANTA .....	12
1.4.	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	13
1.4.1.	REDUÇÃO DE <i>LEAD TIME</i> DE FABRICAÇÃO DOS ROLOS GUIAS .....	15
1.4.2.	AUMENTO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DOS ROLOS GUIAS .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1.	SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (STP).....	17
2.2.	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR (MFV).....	19
2.3.	SMED .....	23
2.4.	CINCO S'S .....	26
2.5.	GESTÃO DE ESTOQUE .....	28
2.6.	QUEBRA DE MÁQUINAS .....	32
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS ROLOS.....</b>	<b>34</b>
3.1.	ROLOS .....	34
3.2.	PROCESSO PRODUTIVO .....	40
3.3.	PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO .....	50
3.4.	SISTEMA DE APONTAMENTO .....	52

<b>4</b>	<b>ESTUDO DO FLUXO DE VALOR.....</b>	<b>53</b>
4.1.	MFV DO ESTADO ATUAL .....	54
4.2.	DELINEAMENTO DO MFV DO ESTADO FUTURO .....	57
4.3.	SELEÇÃO DOS PONTOS A SEREM ANALISADOS .....	59
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE PROPOSTAS DE MELHORIAS .....</b>	<b>61</b>
5.1.	ESTUDO DA REDUÇÃO DO <i>LEAD-TIME</i> .....	61
5.1.1.	M1 – REDUZIR ESTOQUE ENTRE A MÁQUINA DE CORTE E A PRENSA	62
5.1.2.	M7 – ELIMINAR ESTOQUE ENTRE A USINAGEM E O BALANCEAMENTO	73
5.2.	ESTUDO DO AUMENTO DA CAPACIDADE.....	75
5.2.1.	M5 – REDUZIR O TEMPO DE CICLO DO PROCESSO DE DESBASTE	76
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE A – Informações sobre os processos .....</b>	<b>98</b>
	<b>APÊNDICE B – Informações sobre a manutenção corretiva da máquina de corte.....</b>	<b>102</b>
	<b>APÊNDICE C – Informações sobre a aranha (dispositivo de fixação).....</b>	<b>104</b>
	<b>APÊNDICE D – Protocolo padrão para colher as medidas do rolo.....</b>	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE E – Mapa do fluxo de valor depois das melhorias apresentadas.....</b>	<b>107</b>
	<b>ANEXO A – Ícones utilizados na representação do fluxo de valor.....</b>	<b>109</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Esquema proposto para alcançar o objetivo central. ....	4
Figura 2 –	Elementos girantes em uma máquina de papel.....	7
Figura 3 –	Mercados da filial do Brasil. ....	9
Figura 4 –	Vendas (a) e faturamento (b) da planta do Brasil em milhões de dólares. ....	10
Figura 5 –	Localização dos principais centros de produção do rolo.....	12
Figura 6 –	Tipos de atividade que compõem o <i>lead time</i> de fabricação de um produto....	15
Figura 7 –	Priorização do Sistema <i>Lean</i> na redução do <i>lead time</i> . ....	16
Figura 8 –	Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor. ....	20
Figura 9 –	Modelo do ponto de reposição. ....	29
Figura 10 –	Estoque de segurança com demanda variável (D') e tempo de reposição variável (LTR'). ....	29
Figura 11 –	Vista longitudinal de uma máquina de papel com a disposição dos elementos girantes.....	34
Figura 12 –	<i>Mix</i> de fabricação no ano de 2005 (a) e 2006 (b). ....	35
Figura 13 –	Partes que compõem um rolo. ....	37
Figura 14 –	Rolos com um (a), dois (b) e três (c) segmentos. ....	38
Figura 15 –	Volume de fabricação de cada família (produção de 2005 e 2006). ....	38
Figura 16 –	<i>Layout</i> dos centros de produção dos rolos e seqüência das operações.....	42
Figura 17 –	Chanfro feito na chapa.....	43
Figura 18 –	Processo para curvar a chapa.....	44
Figura 19 –	Efeito “banana” no rolo. ....	44
Figura 20 –	<i>Layout</i> : célula de usinagem, balanceadeira e montagem. ....	47
Figura 21 –	Código dos itens que constam na LP.....	50
Figura 22 –	Ficha de apontamento.....	52
Figura 23 –	Tempo de ciclo das etapas de fabricação do rolo. ....	56
Figura 24 –	Tempo médio de duração dos estoques entre as etapas.....	56
Figura 25 –	Composição do <i>lead time</i> de fabricação dos rolos. ....	61
Figura 26 –	<i>Kanban</i> de produção da máquina de corte.....	62
Figura 27 –	Estoque proposto para a Máquina de Corte.....	63
Figura 28 –	Tempos de reparo da máquina de corte.....	65

Figura 29 –	Máquina de corte.....	68
Figura 30 –	Cabeçotes 1 e 2 da máquina de corte. ....	68
Figura 31 –	Frequência dos problemas na máquina de corte. ....	69
Figura 32 –	Dispositivo utilizado antigamente na mesa de corte.....	70
Figura 33 –	Dispositivo utilizado atualmente na mesa de corte.....	70
Figura 34 –	Proposta de melhoria para a mesa da Máquina de Corte.....	71
Figura 35 –	Gráfico de balanceamento de operadores – usinagem e balanceadeira. ....	73
Figura 36 –	Tempo de ciclo das operações e o <i>takt time</i> do produto. ....	75
Figura 37 –	Aranha, dispositivo utilizado no processo de desbaste.....	78
Figura 38 –	Faixa de diâmetro atendida por cada aranha.....	79
Figura 39 –	Diâmetros mais frequentes nos últimos dois anos.....	80
Figura 40 –	Faixa de diâmetro atendida por cada aranha, considerando a aquisição de mais duas aranhas.....	80
Figura 41 –	<i>Layout</i> da célula de usinagem e localização da bancada para armazenar os dispositivos.....	83
Figura 42 –	Tabela de identificação das aranhas.....	83
Figura 43 –	Material de desbaste no rolo.....	85
Figura 44 –	Balanceamento estático.....	86
Figura 45 –	Procedimento para medir o rolo.....	87
Figura 46 –	Oito pontos de controle que fornecem o ajuste do rolo. ....	88
Figura 47 –	Tempo de ciclo da operação de corte (dados do sistema de apontamento). ....	98
Figura 48 –	Tempo de ciclo da operação da prensa (dados do sistema de apontamento)...	99
Figura 49 –	Tempo de ciclo da operação de solda (dados do sistema de apontamento)....	99
Figura 50 –	Tempo de ciclo da operação de usinagem (dados do sistema de apontamento).....	100
Figura 51 –	Tempo de ciclo da operação da montagem (dados do sistema de apontamento).....	100
Figura 52 –	Curva exponencial (tempo em função do $\Delta$ ).....	104
Figura 53 –	Galpão onde são armazenadas as aranhas.....	104
Figura 54 –	Identificação das aranhas para facilitar a busca.....	105
Figura 55 –	Localização da bancada proposta para a célula de usinagem. ....	105
Figura 56 –	Protocolo padrão para obtenção das medidas do rolo.....	106
Figura 57 –	Ícones utilizados na representação do mapeamento do fluxo de valor.....	109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores de Segurança (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).....	30
Tabela 2: Informações sobre o processo de desbaste do rolo.....	48
Tabela 3: Informações sobre o processo de abrir boca no rolo. ....	48
Tabela 4: Informações sobre o processo de montar elementos de balanceamento no rolo.....	48
Tabela 5: Informações sobre o processo de montar ponta/bucha no rolo. ....	49
Tabela 6: Informações sobre o processo de acabamento na usinagem do rolo. ....	49
Tabela 7: Matérias-primas e itens que compõem o rolo.....	51
Tabela 8: Evolução do lead time de fabricação dos rolos guias.....	55
Tabela 9: Indicadores de resultado comparando a situação atual com a situação futura. ....	58
Tabela 10: Melhorias necessárias para atingir o estado futuro.....	59
Tabela 11: Dados para dimensionamento de estoque (Apêndice B).....	63
Tabela 12: Dados de manutenção corretiva da máquina de corte. ....	64
Tabela 13: Probabilidade de falhas para diferentes cenários.....	66
Tabela 14: Probabilidade de falhas para diferentes frequências de falhas. ....	66
Tabela 15: Problemas na máquina de corte. ....	69
Tabela 16: Elementos de trabalho da operação de desbaste.....	76
Tabela 17: Atividades que compõem o <i>setup</i> da operação de desbaste. ....	77
Tabela 18: Aranhas disponíveis atualmente. ....	79
Tabela 19: Tempo observado para montar um dispositivo com determinado $\Delta$ . ....	81
Tabela 20: Ganho que seria obtido com a aquisição da aranha de 360 mm.....	81
Tabela 21: Ganho que seria obtido com a aquisição da aranha de 460 mm.....	82
Tabela 22: $\Delta$ máximo para atender os rolos considerando as duas aranhas. ....	84
Tabela 23: Elementos de trabalho do processo de desbaste depois da melhoria.....	89
Tabela 24: Indicadores de resultado comparando a situação atual com a proposta. ....	91
Tabela 25: Histórico da manutenção corretiva da máquina de corte.....	102
Tabela 26: Histórico da manutenção corretiva da máquina de corte supondo a eliminação das falhas P02 e P03. ....	103



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados do processo de fabricação dos rolos .....	40
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMB	<i>After Market Business</i>
CCM	Centro de Construção Metálica
COC	<i>Center of Competence</i>
COM	<i>Center of Manufacturing</i>
COP	<i>Center of Product</i>
END	Ensaio Não Destrutivo
ETO	<i>Engineering-to-order</i>
LP	Lista de Peças
MFV	Mapeamento de Fluxo de Valor
MTO	<i>Make-to-order</i>
NAFTA	<i>North American Free Trade Agreement</i>
OP	Ordem de Produção
OPR	Operação de Retrabalho
PCP	Programação e Controle da Produção
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
SMED	<i>Single-Minute Exchange of Dies</i>
SO	<i>Sales Order</i>
STP	Sistema Toyota de Produção





## 1 INTRODUÇÃO

Apesar do recente envolvimento com a indústria de máquinas e equipamentos para o setor de celulose e papel (desde janeiro de 2007), a autora identificou neste setor um grande desafio para pôr em prática conhecimentos adquiridos ao longo do curso de graduação em Engenharia de Produção.

O estágio foi realizado no Departamento de Vendas Inter-Grupo de Rolos e Cilindros para máquina de papel e o Programa de Estágio Rotativo complementou o estágio, viabilizando visitas a outros departamentos da empresa. A passagem pelo centro de construção metálica (caldeiraria), célula de usinagem, célula de montagem e expedição foi essencial para a realização deste trabalho, pois possibilitou a compreensão do processo produtivo e o levantamento de dados para o desenvolvimento deste trabalho.

O contato com estas diferentes áreas permitiu identificar na empresa uma estrutura organizacional com concentração funcional, o que evidencia, segundo Salerno (2002), a necessidade de coordenar no tempo, no espaço e em termos de recursos alocados o trabalho de cada uma das unidades de produção. Esta característica somada ao fato da empresa trabalhar com manufatura MTO/ETO contribui para uma maior complexidade do sistema estudado. Embora as etapas do processo de fabricação dos rolos sejam bem parecidas, cada rolo é único e, portanto, necessita de ajustes para ser processado.

Uma outra observação que também demonstra a complexidade do sistema é o fato de algumas máquinas serem compartilhadas por outros produtos da linha. Apesar de reduzir custos, esta prática exige um grande esforço de sincronismo no planejamento da produção e dos operadores para garantir que o sistema flua sem grandes interrupções.

Além disso, com o quadro de operadores cada vez mais enxuto, é uma prática normal que um operador realize duas ou mais tarefas simultaneamente. O trabalho em equipe permite que os operadores atuem em mais de um posto de trabalho, situação observada na célula de usinagem, onde os torneiros estão habilitados a operar mais de uma máquina e a realizar mais de uma etapa do processo de produção.

## 1.1. JUSTIFICATIVA

A indústria de máquina e equipamentos para o setor de celulose e papel é historicamente caracterizada por sua estabilidade. Um dos motivos seria o alto custo de investimentos, sobretudo em máquinas e espaço físico, já que este setor depende de um grande potencial de fundição e usinagem.

A empresa onde o presente estudo foi desenvolvido é uma das mais tradicionais no ramo e é mundialmente reconhecida por sua competência técnica e alta qualidade. Porém, hoje em dia, compete com empresas recentemente ingressantes. A rivalidade entre as empresas tem aumentado, principalmente quando o mercado é analisado em termos globais. A estrutura do setor está sofrendo o impacto não só dos produtos da China, como também dos da Europa e de outros países da Ásia. E este impacto é ainda maior quando o câmbio está desfavorável para a empresa no Brasil.

A empresa aposta na tecnologia e confiabilidade dos seus produtos. No entanto, critérios como preço e prazo têm sido fatores decisivos na hora da venda, que já levaram, inclusive, a perdas de pedidos para a concorrência.

Com relação ao mercado Intra-Grupo, que envolve compra e venda entre as filiais do grupo, se a filial do Brasil recebe uma proposta para produzir parte de uma máquina de papel, é importante que ela possa cumprir o prazo macro do projeto, já que as outras partes da máquina estarão sendo fabricadas em outras filiais. Neste caso, o prazo passa a ser um critério qualificador, ou a empresa consegue cumprir o prazo estipulado ou ela perde o pedido.

No caso da venda de uma máquina completa para o cliente final é importante lembrar que o custo do investimento é elevado. Portanto, quanto menor for o prazo, mais cedo a máquina começará a produzir e mais rápido será o *pay-back* para o cliente. Por isso, a pressão dos clientes por prazo cada vez menor é um fator que deve ser considerado.

No caso de uma reforma de partes da máquina de papel, por exemplo, o rolo, a pressão por prazos menores é mais intensa. Quando a empresa cliente detecta a necessidade de substituir um rolo, a sua equipe de engenharia programa a parada da máquina. Neste intervalo de tempo, o cliente inicia o processo de aquisição, levanta possíveis fornecedores, cota preços e verifica prazos. Ao fornecer o prazo, deve-se considerar que depois de efetivar a compra, começa o papel da engenharia: concluir os desenhos e liberar a lista de peças. Só então é

possível dar início à fabricação do rolo. O tempo restante para a fabricação acaba sendo curto. E se a empresa não for capaz de atender o prazo, ela perde o pedido para a concorrência.

Nota-se que além do custo, o prazo e a flexibilidade têm sido dois aspectos fundamentais para que as empresas permaneçam competitivas no mercado atual. Uma prova disto é o grande esforço por parte do chefe industrial da fábrica para manter a flexibilidade e ao mesmo tempo buscar medidas que tragam maior velocidade para a produção.

Dentre os diversos equipamentos fabricados na empresa, a escolha dos rolos como objeto de estudo está relacionado com o fato de o estágio ter sido realizado no Departamento de Vendas Intra-Grupo de Rolos e Cilindros. Neste departamento foi possível entender, em partes, o impacto provocado por fatores como o custo e o prazo no momento da venda.

Sabe-se que a empresa está com a carga cheia até Setembro de 2008. Diante disso, o questionamento inicial foi: “É interessante para a empresa conseguir vender mais rolos?”; “A empresa venderia mais rolos se a capacidade de produção fosse maior?”. “E se o tempo de entrega fosse menor, esta seria uma vantagem competitiva na hora da venda?”. Segundo a direção da empresa, a resposta é sim. Porém, isso se não houver alteração no custo.

No caso dos rolos, o *lead time* de produção tem se mostrado inconstante e muitas vezes superior ao de alguns concorrentes. Além disso, o ritmo de fabricação dos rolos tem sido geralmente inferior ao ritmo da demanda. Estes fatos têm levado a empresa a se desdobrar para atender as solicitações dos clientes, trabalhando aos sábados e fazendo horas extras e inclusive terceirizando a produção de alguns itens não estratégicos, ou até mesmo administrando a produção em uma empresa parceira do grupo. Portanto, constatou-se no processo de fabricação de rolos oportunidades de melhorias para reduzir o *lead-time* de fabricação e para adequar a capacidade de produção ao *takt-time* de seus produtos.

A escolha do tema contou com o consentimento do chefe industrial, para o qual é também de grande interesse fazer com que o rolo atravessasse mais rápido a fábrica. Já que, desde a implantação do sistema *Lean* na empresa, a busca por melhorias que permitam que a empresa produza mais com menos tem sido cada vez maior.

## 1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é elaborar propostas que possibilitem aumentar a produção de rolos guias para máquina de papel e oferecer prazos mais curtos para o cliente.

Conforme explicitado anteriormente, ao aumentar a produção mantendo o preço e reduzindo o prazo, a empresa criaria um cenário bastante favorável para a venda de novos projetos. Sabe-se que nos últimos dois anos houve um aquecimento na demanda de máquinas e equipamentos para máquinas de papel (SALGADO, 2005). Em contrapartida, houve também um aumento no número de *players* desta indústria e, caso a empresa deixe de atender aos pedidos por estar com a carga cheia, estes certamente serão atendidos pelos concorrentes.

Para garantir um melhor controle sobre as etapas de desenvolvimento do trabalho, optou-se por trabalhar com objetivos intermediários que devem convergir para o objetivo central proposto, como mostra a Figura 1.

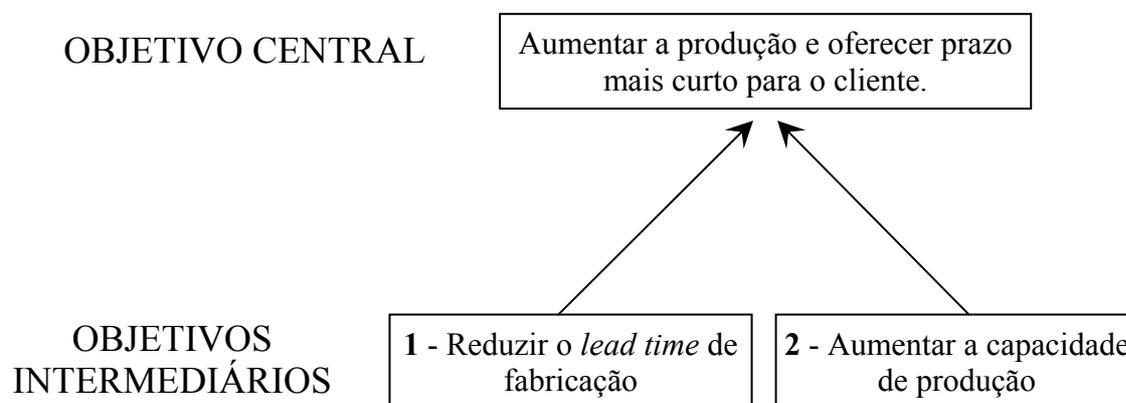


Figura 1 – Esquema proposto para alcançar o objetivo central.

### 1.3. A EMPRESA

O trabalho foi realizado em uma empresa de máquinas e equipamentos para o setor de celulose e papel. Instalada no Brasil, em São Paulo, há mais de 40 anos, é uma das mais antigas filiais do grupo. É uma empresa mundialmente reconhecida por sua competência técnica e alta qualidade. A planta do Brasil tem fornecido máquinas para mais de cinquenta países além do mercado nacional. Cerca de 80% da produção de papel gráfico no Brasil são provenientes de máquinas fornecidas por esta empresa.

A empresa desenvolve, projeta, fabrica e implementa linhas para a produção de papéis de embalagem, papéis cartão, papéis gráficos, papéis *tissue* e celulose, fornecendo tanto os equipamentos para a preparação de massa, como a máquina de papel, equipamentos para o acabamento dos papéis, transporte e embalagem de bobinas, telas e feltros, revestimentos de rolos e equipamentos de automação. Oferece, também, pacotes completos de serviços, como montagem, comissionamento, *start up* e assistência técnica.

#### 1.3.1. A máquina de papel

O papel é uma das maiores invenções da humanidade. Diversas matérias-primas foram utilizadas até que, em meados do século XIX, a fibra de celulose se tornasse a principal fonte para a produção de papel. Assim se deu início à indústria de máquinas e equipamentos para o setor de celulose e papel. Desde a sua entrada neste mercado, a empresa tem contribuído com novas tecnologias para obtenção de papéis de melhor qualidade, com máquinas cada vez mais velozes e mais largas.

Para entender melhor a função do rolo em uma máquina de papel é importante compreender alguns conceitos básicos do processo de fabricação do papel, os quais são apresentados a seguir:

1. Sistema de preparação de massa: Sistema dedicado à preparação das fibras de celulose, eliminando areia e contaminantes. A mistura de fibras de celulose e água é chamada de massa. Nesta fase, a concentração de fibras na massa é de 1%.
2. Caixa de entrada (*Headbox*): Equipamento que introduz a massa de fibras de celulose na máquina de papel. A caixa de entrada é o primeiro módulo que aparece na máquina de papel mostrada na Figura 2.
3. Seção de formação (*Wire Section*): Responsável pelo desaguamento através da tela formadora, tanto por gravidade como por sucção, de grande parte da água contida na suspensão recebida da caixa de entrada, o que resulta na formação da folha de papel. Após esta fase, as fibras já representam 20 % da sua composição.
4. Seção de prensa (*Press Section*): Seção dedicada à compressão da folha de papel entre feltros, para retirada mecânica de água. Após este processo, a folha apresenta 45% de fibras em sua composição.
5. Seção de secagem (*Dryer Section*): Nesta seção, a retirada de água se dá por evaporação, devido ao contato da folha de papel com cilindros secadores aquecidos a vapor. O papel sai deste processo com umidade residual de cerca de 6%.
6. Aplicação de amido: A aplicação de amido tem a finalidade de melhorar a qualidade superficial para a impressão dos papéis gráficos e aumentar a resistência dos papéis de embalagem.
7. Calandragem (*Calander*): Este processo visa o aumento da lisura superficial da folha de papel.
8. *Coater*: Processo de aplicação de tinta na superfície da folha para possibilitar impressão gráfica de alta qualidade.
9. Enroladeira (*Reel*): Neste processo, o papel produzido na máquina é enrolado sobre rolos metálicos, para que possa ser encaminhado a os processos subseqüentes.
10. Rebobinadeira: Neste equipamento, o papel é rebobinado sobre tubetes de papelão para permitir sua venda em rolos ou encaminhamento para processos de corte nos formatos finais requisitados pelo mercado.
11. Transporte e embalagem de bobinas: O papel vendido em rolos precisa ser protegido para ser transportado. Este equipamento embala esses rolos com folhas grossas de papel embalagem.

É interessante observar que, exceto no sistema de preparação da massa e na caixa de entrada, em todas as outras partes da máquina de papel é possível encontrar diferentes tipos de rolos como ilustra a Figura 2. Dentre outras funções, além de auxiliarem no transporte do papel durante as suas diferentes fases, eles são os grandes responsáveis pelo aspecto dinâmico da máquina de papel.

Os rolos mais comuns em uma máquina de papel são: o rolo guia tela, o rolo guia feltro e o rolo guia papel. Como o próprio nome diz, estes rolos servem para guiar respectivamente a tela, o feltro ou o papel nos diferentes trechos da máquina. O rolo guia tela está presente na seção de formação, o rolo guia feltro é encontrado na seção de prensa e o rolo guia papel é usado basicamente para conduzir o papel de uma parte da máquina para a outra, portanto, aparece em menor número.

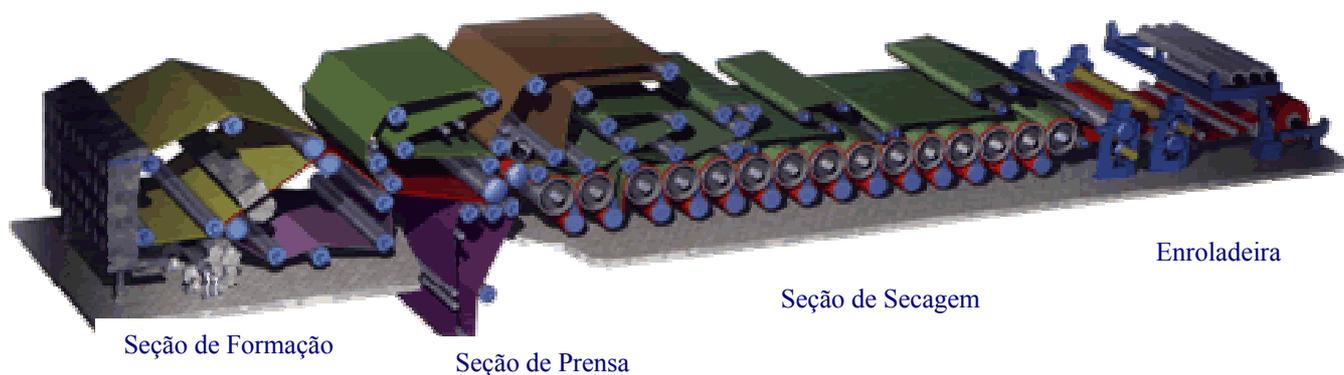


Figura 2 – Elementos girantes em uma máquina de papel.

Na fábrica, a produção dos equipamentos é dividida em quatro grandes grupos:

- Linha de Rolo;
- Linha de Cilindro;
- Linha de Caixa de Entrada;
- Linha de Estrutura.

Os rolos e cilindros fazem parte dos elementos girantes de uma máquina de papel. Este subgrupo requer uma atenção especial, já que a produtividade da máquina e a boa qualidade do papel estão extremamente ligadas ao bom desempenho destes produtos. Além disso, no caso do cilindro secador, por ser um vaso de pressão, precisa atender às normas rígidas de fabricação. Portanto, devido à importância dos elementos girantes, boa parte dos esforços da fábrica na busca por melhorias está vinculada a sua fabricação.

A caixa de entrada tem a difícil tarefa de introduzir uma quantidade pré-estabelecida de fibras em suspensão ao longo de toda a extensão da folha com um determinado volume, mantendo a mesma concentração de fibras e a mesma pressão para obter a camada mais uniforme possível de massa. A maior parte dos recursos vem de uma célula dedicada a sua fabricação.

Tirando rolo, cilindro e caixa de entrada, o restante pertence ao grupo de estruturas. Um grupo bastante diversificado, que acaba consumindo recursos em diferentes setores, inclusive um deles, o setor de prensa, que influencia diretamente no *lead time* de fabricação do rolo por ter o seu uso compartilhado.

### 1.3.2. O Mercado de máquinas de papel

Tradicionalmente, a demanda por papel apresenta um crescimento contínuo, apesar da difusão do uso de sistemas de computação eletrônica. Isso faz com que a indústria de papel e celulose busque aumentar a sua capacidade de produção para atender a demanda. Inclusive, muitas empresas deste setor já operam com ocupação próxima de 90% da capacidade produtiva.

Neste momento do mercado aparecem muitas oportunidades de projetos de novas máquinas de papel ou de reformas, a fim de aumentar a produção de máquinas já instaladas. Além disso, pedidos de equipamentos para reposição aparecem ao longo de todo o ano e tendem a aumentar conforme aumenta o número de máquinas operando no mundo.

O mercado de papel e celulose é subdividido em:

- Papel Gráfico (papel branco);
- Papel Embalagem (papel marrom);
- Papel *Tissue* (papel higiênico, papel toalha, lenço etc);
- Papel Cartão
- Papel Especial
- Celulose

Há várias fábricas do grupo espalhadas pelo mundo. Por questões estratégicas, cada filial atende a uma determinada região do globo. A Figura 3 mostra os mercados atendidos pela filial do Brasil.

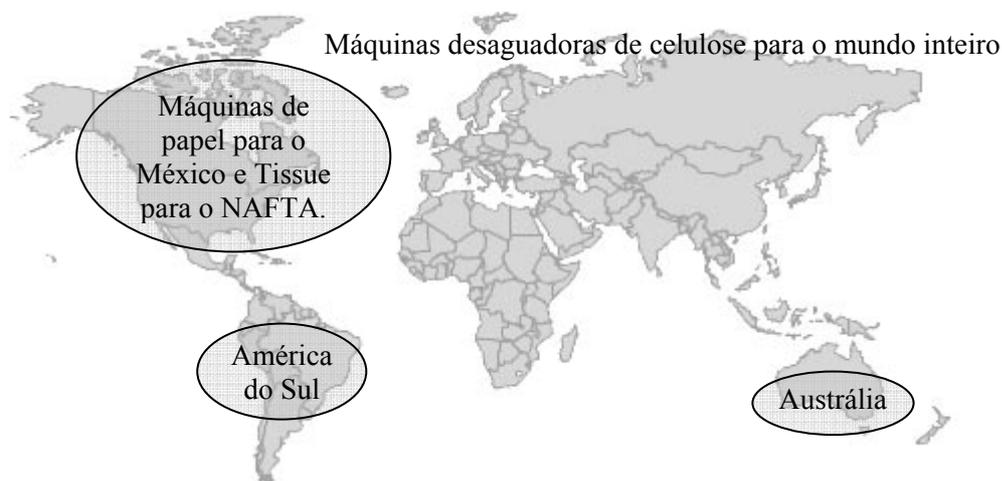


Figura 3 – Mercados da filial do Brasil.

No caso da filial no Brasil, o mercado é constituído por países da América do Sul e da Austrália, além do fornecimento de máquinas de papel para o México, máquinas *tissue* para Canadá, Estados Unidos e México e máquinas desaguadoras para todo o mundo. Os produtos vendidos a este mercado correspondem a maior parte da produção e são conhecidos como produtos da Linha.

Há casos em que a venda é efetuada por uma filial e a fabricação pode ser feita em qualquer outra filial do grupo que esteja capacitada a produzir, ou seja, que seja Centro de Manufatura (COM) do equipamento em questão. Esta venda é chamada de Intra-Grupo ou COP/COM. E por ser centro de manufatura de boa parte dos equipamentos da máquina de papel, a planta do Brasil acaba sendo bastante cotada a participar dos projetos.

Há ainda a venda *After Market Business* (AMB) que corresponde a reformas nas máquinas. Os serviços de revestimento dos rolos para a empresa são fornecidos pelo *Service Center*, que realiza também serviços externos de reparos em rolos e cilindros.

Somando todos os tipos de venda, no ano fiscal de 2004/2005, chegou-se a um montante de US\$ 212.000.000, como mostra a Figura 4.

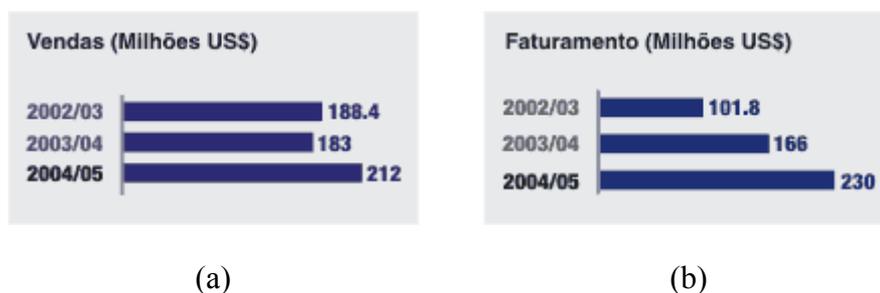


Figura 4 – Vendas (a) e faturamento (b) da planta do Brasil em milhões de dólares.

### 1.3.3. O Sistema *Lean* na empresa em estudo

Devido às fortes pressões por prazos e custos menores e à crescente competição neste setor, em 2005, a diretoria da empresa viu como alternativa a implementação de uma nova forma de produzir os seus produtos, permitindo que estes cheguem até os seus clientes de forma organizada (através do fluxo), a preços atraentes e mais rápido do que os de seus concorrentes.

A partir deste momento, foi iniciado um ciclo de *wokshops* orientados ao aprendizado do sistema *Lean*, visando atingir novos patamares de excelência operacional e satisfazer plenamente as necessidades dos clientes.

O objetivo da empresa com a introdução deste novo sistema foi tornar cada processo mais eficiente e eficaz, para depois, conectar estes processos numa cadeia contínua focada no fluxo dos produtos, a fim de maximizar o valor entregue aos clientes.

Este tem sido um grande desafio para a empresa nos últimos dois anos. Cada produto é único, sendo que cada rolo tem um diâmetro, um comprimento e uma espessura específicas além de outras características que dificultam a criação de um fluxo. Outra grande dificuldade está nas características físicas do produto. O peso médio dos rolos brutos é cerca de 5000 kg e o seu comprimento médio é de 6000 mm, podendo chegar até 10800 mm (maior rolo já fabricado pela empresa), o que dificulta o transporte e pode ser um obstáculo na criação do fluxo.

Na fábrica, as primeiras aplicações dos princípios do Sistema *Lean* foram feitas na linha de produção de caixa de entrada. Hoje em dia, as linhas de rolo, cilindro e estrutura também já produzem baseados neste sistema. Algumas adaptações foram feitas para conciliar as particularidades de cada um dos quatro segmentos de produtos. Porém, será dada maior atenção à linha de fabricação de rolos, já que este trabalho se propõe a estudar a produção deste segmento.

### 1.3.4. Descrição da planta

A empresa possui um terreno de 300.000 m<sup>2</sup> com 45% da área construída. Ao todo possui 4 galpões que são compartilhados entre outras divisões da empresa. Cada galpão está posicionado paralelamente aos demais e é atravessado por um trilho que facilita o transporte entre os galpões.

Por se tratarem de itens pesados, o fluxo de produção é extremamente dependente da disponibilidade de pontes rolantes quando o transporte é executado dentro de um galpão, ou de trilho, caminhão ou trator quando o transporte é entre os galpões. O transporte entre os galpões é geralmente feito por facilitadores.

Em termos de fabricação os processos de produção do rolo podem ser divididos em três processos: Caldeiraria ou Centro de Construção Metálica (CCM), Usinagem e Montagem. A máquina de corte, a prensa e a solda estão localizadas na Caldeiraria. A Figura 5 mostra como os centros de fabricação do rolo estão dispostos na fábrica.

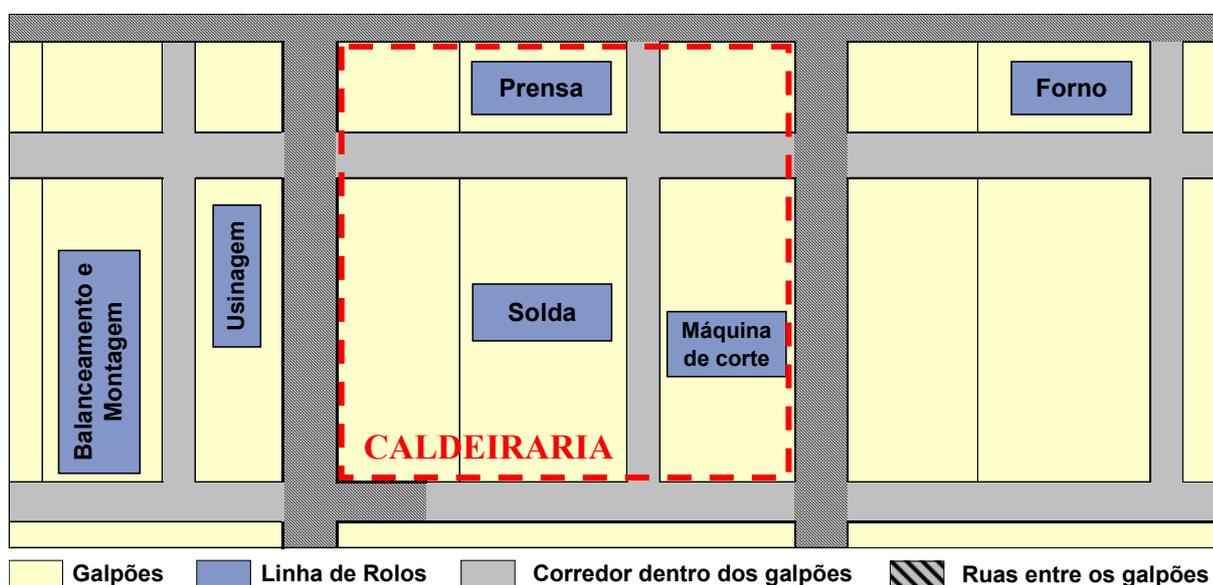


Figura 5 – Localização dos principais centros de produção do rolo.

## 1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 1 – Introdução:** descrição do objetivo, da justificativa e relevância do tema abordado, descrição da empresa (dimensão, posição no mercado, produtos, sistema *Lean* na empresa e a planta de São Paulo) e apresentação da estrutura do trabalho;
- **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:** fundamentação do estudo em princípios e técnicas relacionados à Engenharia de Produção. Contém uma introdução sobre tópicos relevantes ao trabalho, como Sistema Toyota de Produção (STP), Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), *Single Minute Exchange of Dies* (SMED), 5 S's, Gestão de Estoque e Quebra de Máquinas;
- **Capítulo 3 – Descrição do Processo de Produção dos Rolos:** levantamento de dados e informações do processo produtivo;
- **Capítulo 4 – Estudo do Fluxo de Valor:** análise do fluxo de valor dos rolos, definindo o estado atual e delineando o estado futuro;
- **Capítulo 5 – Desenvolvimento de Propostas de Melhoria:** apresentação dos estudos para redução do *lead time* e aumento da capacidade;
- **Capítulo 6 – Resultados e Discussões:** apresentação sucinta e clara dos resultados esperados após a realização deste trabalho.
- **Capítulo 7 – Conclusão.**

O fato de estagiar na empresa facilitou muito o acesso à fábrica e a algumas informações essenciais para o estudo proposto.

O processo foi acompanhado no chão de fábrica, com esclarecimentos do pessoal de planejamento e controle da produção (PCP), dos operadores, do pessoal da manutenção e da qualidade, além de outros envolvidos no processo. Para um estudo da demanda dos diferentes tipos de rolos foi considerado um banco de dados dos rolos fabricados entre 2005 e 2006.

Devido ao fato dos tempos de ciclo das operações serem demorados, eles foram obtidos com base em referência passadas. Alguns projetos, de 2006 até o começo de 2007, foram selecionados e classificados de acordo com o tipo de rolo. Para estes projetos foi feito um levantamento das horas apontadas na fábrica por meio de um sistema de informação denominado TIME. Neste sistema é possível identificar quantas horas foram consumidas de uma atividade para processar os rolos de um determinado projeto.

É importante observar que este intervalo de tempo apontado abrange não só o tempo efetivo de operação, mas também o tempo de *setup*, ajustes e paradas, caso estas ocorram durante o processamento do produto. Portanto, para separar o tempo de *setup*, foram consideradas as informações dos operadores quanto ao tempo médio despendido com esta atividade.

Com as informações em mãos foi possível desenhar o mapa do fluxo de valor do estado atual e delinear o estado futuro. As melhorias propostas para o estado futuro estão relacionadas às duas frentes apresentadas na Figura 1, as quais são discutidas a seguir.

### 1.4.1. Redução de *lead time* de fabricação dos rolos guias

Para a busca deste objetivo foi feito um levantamento das atividades que não agregam valor, que normalmente são as atividades que mais contribuem na dimensão do *lead time*, como mostra a Figura 6.

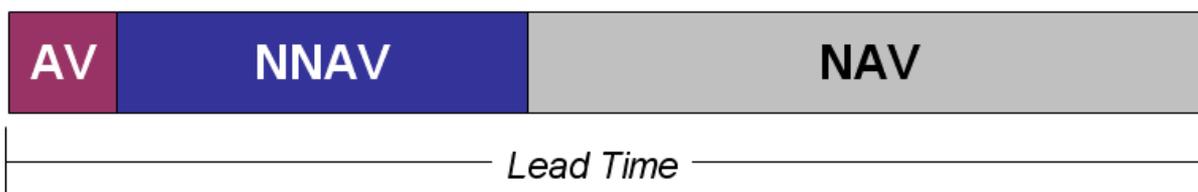


Figura 6 – Tipos de atividade que compõem o *lead time* de fabricação de um produto.

O tempo de recursos em um sistema de produção é tipicamente consumido por três tipos de atividades (MONDEN, 1984):

- **Atividades que Agregam Valor (AV):** Atividades que, aos olhos do cliente, tornam o produto mais valioso. Por exemplo, mudança da forma e/ou das propriedades físico-químicas do material;
- **Atividades que Não Agregam Valor (NAV):** Atividades que, aos olhos do cliente, não tornam o produto mais valioso, sendo, portanto, desnecessárias. Por exemplo, armazenagem, fila, inspeção, retrabalho e localização de material e ferramenta;
- **Atividades Necessárias que Não Agregam Valor (NNAV):** Não tornam o produto mais valioso, mas são necessárias enquanto o processo não mudar radicalmente. Por exemplo, limpeza de ferramenta, lubrificação, regulagem e *setup*.

Seguindo o princípio da produção enxuta, os esforços serão concentrados na redução dos desperdícios como mostra a Figura 7, mais precisamente na redução dos estoques entre os processos.

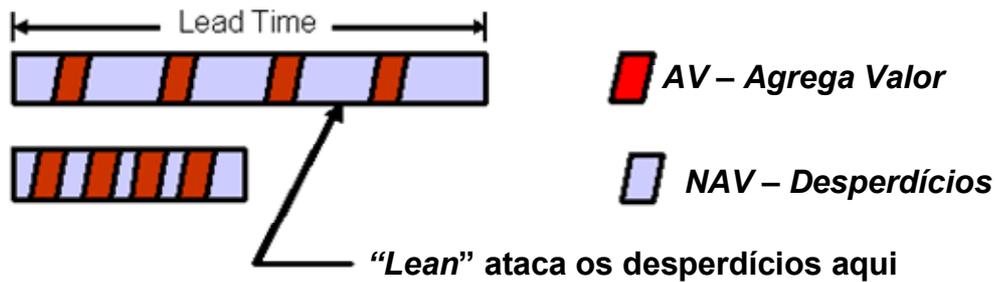


Figura 7 – Priorização do Sistema *Lean* na redução do *lead time*.

Primeiramente foram analisados os motivos que levam ao surgimento dos estoques entre os processos. Uma das razões observadas é a dificuldade em coordenar alguns processos, como a prensa e o tratamento térmico. Os problemas de manutenção corretiva também geram a necessidade de estoque após a máquina com disponibilidade incerta, como é o caso da máquina de corte.

Além da importância de se reduzir o estoque entre processos, o trabalho contemplou o desafio de buscar alternativas para se aumentar a capacidade de produção.

#### 1.4.2. Aumento da capacidade de produção dos rolos guias

Com base no tempo de ciclo atual e no *takt time* do produto foi feita uma análise dos processos a fim de identificar o gargalo da linha, que é aquele processo que impede que a capacidade de produção seja maior que a atual. Depois de identificar o processo gargalo foi feito um estudo sobre as possibilidades de reduzir o seu tempo de ciclo e permitir que a linha produza com um *takt time* de 320 minutos. Para isso, optou-se pela aplicação da técnica SMED voltada à redução do tempo de *setup*.

Para o estudo do processo, assim como para a proposta das melhorias foram utilizadas conceitos e ferramentas do sistema *Lean* de produção, como o Mapeamento do Fluxo de Valor (ROTHER; SHOOK, 2003) e a técnica SMED (SHINGO, 1993).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO (STP)

O Sistema Toyota de Produção evoluiu da necessidade das empresas japonesas de se adaptarem às restrições do mercado, que em meados da década de 40 passaram a exigir cada vez maior variedade de modelos e em pequena quantidade. Foi neste contexto, que a *Toyota Motor Corporation*, por iniciativa de Kiichiro Toyoda e Taiichi Ohno dentre outros, concebeu o Sistema Toyota de Produção (LEAN INTERPRISE INSTITUTE, 2003).

Além do objetivo de produzir maior variedade em pequenas quantidades, o período de baixo crescimento na época colocou a redução de custos e a melhoria da qualidade como sendo outros dois grandes objetivos a serem perseguidos pelos fabricantes que quisessem sobreviver no mercado. O STP propõe que estes objetivos sejam alcançados, sobretudo, pela eliminação de desperdícios.

Este sistema é sustentado por dois pilares, *Just-in-Time* e *Jidoka* e é mantido e melhorado por esforços de padronização do trabalho, seguidos de ciclos PDCA para melhoria contínua (*kaizen*) (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2003).

O STP tem sido mais recentemente referenciado como “Sistema de Produção Enxuta”, do original em inglês “*Lean*”. Na verdade, produção enxuta é um termo genérico para definir o STP. O reconhecimento deste sistema como um modelo de produção se difundiu rapidamente com a publicação do livro “A Máquina que Mudou o Mundo” em 1990. Constatou-se que o STP era muito mais eficaz e eficiente do que o tradicional sistema de produção em massa. Desde então, muitas empresas vêm se empenhando na implementação de processos de transformação de acordo com as técnicas da filosofia de produção enxuta. A empresa em estudo não ficou de fora, e desde 2005 busca adaptar a sua produção MTO/ETO ao sistema *Lean*.

Na linguagem da engenharia industrial consagrada pela Toyota, perdas (*muda* em japonês) são atividades completamente desnecessárias que geram custo, não agregam valor e que, portanto, devem ser imediatamente eliminadas. Segundo Ohno (1997) o desperdício na produção pode ser dividido em sete categorias:

- **Perda por superprodução:** produzir além das necessidades do próximo processo ou do cliente. É a pior forma de desperdício, pois contribui para a ocorrência dos outros seis;
- **Perda por espera:** espera de operadores enquanto as máquinas operam, por falhas no equipamento, por peças necessárias que não chegam, etc.;
- **Perda por transporte:** movimentação desnecessária de produtos ou peças tais como de uma etapa de processamento a um almoxarifado e dali a outra etapa do processo quando a segunda etapa poderia estar localizada perto da primeira;
- **Perda no próprio processamento:** realizar etapas desnecessárias ou incorretas, geralmente devido a equipamento ou projeto ruim;
- **Perda por estoque:** possuir estoques maiores que o mínimo necessário para um sistema puxado controlado precisamente;
- **Perda por movimentação:** operadores realizando movimentações desnecessárias tais como procurar por equipamento, peças, documentos, etc.;
- **Perda por fabricação de produtos defeituosos:** inspeção, retrabalho e refugo.

Entre as principais técnicas e ferramentas que possibilitam reduzir desperdícios vale citar as células de manufatura, o fluxo contínuo de peças, a utilização de mecanismos de prevenção de falhas, os sistemas de troca rápida de ferramentas, o mapa do fluxo de valor, operadores multifuncionais, manutenção preventiva e gerenciamento visual entre outras.

No STP, a redução dos custos através da eliminação das perdas passa por uma análise detalhada do fluxo de valor, isto é, a seqüência de processos pela qual o material passa, desde o estágio de matéria-prima até ser transformado em produto acabado. O processo sistemático de identificação e eliminação das perdas passa ainda pela análise das operações, focando na identificação dos componentes do trabalho que não adicionam valor.

## 2.2. MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR (MFV)

O Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping*) é uma técnica de descrição e análise proveniente da metodologia Análise da Linha de Valor (*Value Stream Analysis*), proposta por Rother e Shook (2003). Entende-se aqui por fluxo de valor o conjunto de todas as atividades que agregam valor desde a obtenção de matéria prima até a entrega do produto ao consumidor final.

Por conseguir sintetizar o processo produtivo de forma simples e objetiva, normalmente utilizando apenas lápis e papel, o MFV tem se mostrado uma importante ferramenta na busca de um fluxo de valor cada vez mais enxuto. A seguir são apontadas algumas das vantagens que o MFV oferece:

- Ajuda a visualizar mais do que simplesmente os processos individuais e assim ajuda a enxergar o fluxo.
- Ajuda a identificar não só os desperdícios, mas também as causas dos desperdícios.
- Fornece uma linguagem comum para tratar dos processos de manufatura.
- Torna as decisões sobre o fluxo visíveis, de modo que as pessoas envolvidas possam discuti-las.
- Integra conceitos e técnicas enxutas, evitando a implementação de algumas técnicas isoladamente.
- Forma a base para um plano de implementação, identificando a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de material.

Seus princípios baseiam-se na identificação e eliminação dos desperdícios encontrados ao longo do fluxo produtivo, buscando um fluxo de valor cada vez mais enxuto.

As etapas básicas que constituem a técnica do Mapeamento do Fluxo de Valor estão representadas na Figura 8.

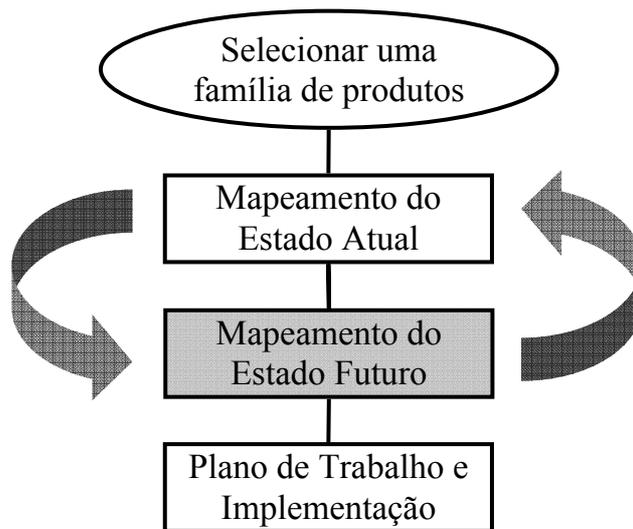


Figura 8 – Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor.

Fonte: Rother e Shook (2003).

Depois de selecionar uma família de produtos, informações são coletadas no chão de fábrica para desenhar o estado atual. Após isso, são mapeados os processos produtivos. Todos os processos são identificados e algumas informações básicas sobre eles são coletadas a partir de uma caixa de dados padrão. As informações que podem estar contidas nesta caixa de dados são:

- Tempo de ciclo (TC): tempo em que uma peça ou produto é completado por um processo. Esse tempo inclui o tempo de operação mais o tempo requerido para preparar, carregar e descarregar os materiais.
- Tempo de trocas (TR): tempo que se leva para mudar a produção de um tipo de produto para outro. Envolve por exemplo, o tempo de troca de ferramentas.
- Disponibilidade: tempo disponível por dia, ou por turno no processo descontando-se os tempos de parada e manutenção.
- Índice de rejeição: índice que determina a quantidade de produtos defeituosos gerados pelo processo.
- Número de pessoas necessárias para operar o processo.

O próximo passo é identificar onde se localizam os estoques e qual a quantidade média em número de peças e em dias, tendo como base a média de consumo.

Ao observar a forma como os processos recebem a informação do que fazer e quando fazer é possível classificar a movimentação de material em fluxos puxados, empurrados ou contínuos. Um fluxo puxado acontece quando o processo cliente determina a produção nos

processos anteriores. Um fluxo empurrado acontece quando os processos são controlados com base em uma programação, sem levar em conta as reais necessidades dos processos clientes. Um fluxo contínuo ocorre quando uma peça vai diretamente de um processo ao outro sem que haja uma interrupção. A substituição das movimentações e processamento de materiais em lotes pelo chamado fluxo unitário de peças favorece o fluxo contínuo.

O fluxo de informações também é mapeado e inclui a programação dos processos, a frequência com que são realizados os pedidos, as previsões e as solicitações de material.

Antes de desenhar o mapa do estado futuro, Rother e Shook (2003) sugerem alguns procedimentos para tornar um fluxo de valor enxuto. São eles:

- Produzir de acordo com o *takt time* do produto: o *takt time* é a frequência com que a empresa deve produzir um produto, baseado no ritmo das vendas, para atender a demanda. Um ritmo de produção mais rápido gera estoque, enquanto que um ritmo de produção mais lento exige uma necessidade de acelerar o processo a fim de atender a demanda. Tal comportamento acaba gerando perdas como, refugo, retrabalho e horas extras, enfim um desequilíbrio na produção. O objetivo do *takt time* é alinhar a produção à demanda (e não o oposto) com precisão, fornecendo um ritmo ao sistema de produção *lean*. O *takt time* é calculado dividindo-se o tempo disponível de trabalho nem dado período pelo volume da demanda neste período.
- Desenvolver um fluxo contínuo onde for possível: buscar o fluxo contínuo significa procurar produzir uma peça de cada vez, com cada item sendo passado imediatamente de um estágio do processo ao seguinte sem nenhuma parada.
- Usar supermercado para controlar a produção onde o fluxo contínuo for interrompido e o processo anterior operar com base em lotes. Uma das razões em se ter uma produção em lotes é quando alguns processos têm *lead time* muito elevado ou não são muito confiáveis para ligarem-se diretamente a outros processos em um fluxo contínuo.
- Tentar enviar a programação do cliente para somente um processo de produção: este ponto é chamado de processo puxador (*pacemaker*), pois o controle de produção neste processo define o ritmo para todos os processos anteriores. Depois do processo puxador a transferência do produto até a etapa final deve ocorrer como um fluxo.

- Distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente no decorrer do tempo no processo puxador: ao nivelar o *mix* de produtos no processo puxador, a produção estará mais apta para responder às diferentes solicitações dos clientes com um pequeno *lead time*, enquanto mantém um pequeno estoque de produtos acabados.
- Criar uma “puxada inicial” com a liberação e retirada de somente um pequeno e uniforme incremento de trabalho no processo puxador: esta retirada compassada visa estabelecer um ritmo de produção consistente e um fluxo de produção previsível.
- Desenvolver a habilidade de fazer “toda peça todo dia” nos processos anteriores ao processo puxador: trata-se da frequência com que o processo deve se modificar para fazer todas as peças novamente.
- As melhorias no processo, necessárias para viabilizar o fluxo idealizado para o estado futuro, devem ser representadas pelo ícone necessidade de *kaizen* (Anexo A). Esta representação facilita a visualização dos processos ou das partes do fluxo de valor que necessitam de algum projeto de melhoria.

Ao concluir o mapa do estado futuro, faz-se um planejamento descrevendo o que fazer e como fazer para alcançá-lo. O mapa do estado futuro é a meta a ser perseguida, e mesmo após ter sido alcançado deve ser revisado para se buscar a melhoria contínua do fluxo de valor.

O MFV é somente uma ferramenta. Para que ele seja útil, o estado futuro desenhado tem de ser implementado (ROTHER; SHOOK, 2003). Seus preponentes sugerem ainda que sejam criados *loops* no MFV, a fim de dividir os esforços de implementação do estado futuro em partes menores administráveis.

### 2.3. SMED

A técnica *Single-Minute Exchange of Dies* (SMED) foi idealizada logo após a Segunda Guerra Mundial por Shigeo Shingo para ser aplicada às indústrias japonesas com o intuito de que possibilitassem realizar a preparação entre a produção de uma peça e outra no menor tempo possível.

Shingo (1993) comenta que em muitas fábricas visitadas por ele a maior dificuldade encontrada era a produção diversificada em baixo volume individual. Ao se aprofundar nesta constatação ele percebeu que a principal dificuldade estava nas operações de troca e preparação da máquina. Para não comprometer a diversificação, o número de trocas não poderia ser reduzido, mas sim o tempo das mesmas.

De uma forma mais ampla a aplicação do SMED contribui para a eliminação de gargalos, busca de maior flexibilidade e redução de custos (SHINGO, 1993).

A aplicação desta técnica segue três etapas (SHINGO, 1993):

**1ª Etapa – Separação de *setup* interno e externo:** A distinção das atividades de *setup* é a primeira etapa de aplicação da técnica SMED. Segundo Shingo (1993), as atividades de *setup* podem ser classificadas em internas, aquelas que podem ser realizadas apenas com a máquina parada, e externas, aquelas que podem ser executadas durante o funcionamento da máquina. As atividades externas incluem aquelas classificadas como desnecessárias, como a espera por dispositivos que serão utilizados na operação ou a busca de ferramentas.

Alguns procedimentos auxiliam a implementação desta etapa:

- Filmagem da operação de *setup*.
- Utilização de *Checklist*: O objetivo do *checklist* é auxiliar o desenvolvimento do processo de troca de produto. Durante a elaboração do *checklist* é necessário listar todas as peças e passos requeridos no *setup*. As informações devem ser claras e objetivas. A utilização de um *checklist* mal formulado pode tornar confuso o desenvolvimento das operações do *setup*, podendo ser ignorado pelos operadores.

- Checagem funcional: A checagem funcional tem o intuito de analisar se as peças e ferramentas necessárias para a execução do *setup* estão em perfeitas condições. A checagem funcional deve ser executada antes do começo do *setup*. Desta forma, peças danificadas podem ser identificadas e reparadas antecipadamente.
- Melhoria do transporte de peças e ferramentas: Todas as peças, como, insertos, moldes, dispositivos de fixação e ferramentas necessárias para a execução do *setup* necessitam ser transportadas da área de estocagem de peças para o equipamento e, após o término do lote, de volta para a área de estocagem. A movimentação das peças deve ser executada como *setup* externo.

**2ª Etapa – Converter *setup* interno em externo:** As operações do *setup* interno, separadas das operações do *setup* externo na etapa anterior, devem ser reexaminadas para verificar a possibilidade de serem realizadas enquanto o equipamento estiver em operação.

A conversão do *setup* interno em externo é obtida pela análise da função das operações do *setup*, buscando reavaliar os procedimentos convencionais e as novas possibilidades de melhoria. É importante, neste momento, adotar novos pontos de vista que não estejam influenciados por antigos costumes. A partir dessa etapa, operações que não contribuem para a melhoria da operação do *setup* devem ser identificadas e eliminadas. As técnicas de análise e solução de problemas e de filmagem da operação do *setup* também podem ser aplicadas nessa etapa. Outra técnica a ser utilizada é o projeto estatístico de experimentos, com o objetivo de determinar o ajuste ótimo dos equipamentos e eliminar o tempo perdido no *setup* em operações de tentativa e erro.

Alguns procedimentos auxiliam a implementação desta etapa:

- Antecipação dos ajustes das condições operacionais: O objetivo desta medida é a preparação das peças, ferramentas e condições necessárias antes do início do *setup* interno. Como o ajuste da peça em um dispositivo padrão, encaixado com facilidade na máquina. Ou a identificação prévia dos parâmetros necessários para o ajuste da peça na máquina, como comprimento, altura e diâmetro dentre outros.
- Padronização dos parâmetros: Quando as ferramentas ou as partes do equipamento em uma nova operação são diferentes das anteriores, os operadores tendem a consumir

mais tempo com ajustes durante o *setup*, geralmente com o equipamento parado. A padronização – manter condições semelhantes de uma operação para outra – ajuda a reduzir os tempos de *setup* interno e externo.

- Projeto estatístico de experimentos, com o objetivo de determinar o ajuste ótimo dos equipamentos e eliminar o tempo perdido no *setup* em operações de tentativa e erro (FOGLIATTO; FAGUNDES, 2003).

**3ª Etapa – Aperfeiçoar todos os tipos de *setup*:** Esta etapa necessita de uma análise detalhada de cada atividade elementar. Visa à obtenção de melhorias em todas as etapas do processo de *setup*.

Alguns procedimentos auxiliam a implementação desta etapa:

- Estreitamento do *setup* externo: A implementação de melhorias do *setup* externo inclui a estocagem e o transporte de peças do equipamento e ferramentas. Alguns exemplos de melhorias possíveis:
  - Recursos de armazenamento: utilização de estantes e salas climatizadas para possibilitar condições perfeitas de armazenamento das peças;
  - Gerenciamento de estoque: endereçar o local de armazenamento das peças e possuir um banco de dados para facilitar o acesso e armazenamento das peças.
- Estreitamento do *setup* interno:
  - Operações em paralelo: dividir e alocar as tarefas do *setup* interno entre dois ou mais operadores. Deste modo, duas ou mais atividades independentes entre si podem ser executadas ao mesmo tempo, reduzindo a duração do *setup*;
  - Utilização de “fixação funcional”: é uma fixação que possibilita prender objetos no local necessário com mínimo esforço. Desta forma, é possível eliminar porcas e parafusos que são trabalhosos para serem afixados e se perdem facilmente.

## 2.4. CINCO S's

O Cinco S's é uma ferramenta utilizada para criar um local de trabalho adequado ao controle visual e à produção enxuta (LEAN ENTERPRISE INSTITUTE, 2003). Os S's correspondem a Cinco palavras japonesas que descrevem práticas para o ambiente de trabalho, úteis para o gerenciamento visual e para a produção *Lean*. Os cinco termos em japonês são:

**1. *Seiri* (senso de utilização):** Separar os itens necessários dos desnecessários, descartando estes últimos.

Manter no local de trabalho apenas os materiais, ferramentas e equipamentos que serão utilizados, tendo como objetivo a redução, e até eliminação, de desperdícios e uma melhor utilização dos espaços.

**2. *Seiton* (senso de organização):** Organizar o que sobrou, um lugar para cada coisa e cada coisa em seu lugar.

Arrumar e identificar peças e ferramentas, tendo como objetivo a facilidade de uso, diminuição de risco com acidentes, maior conhecimento do material disponível, melhoria na comunicação visual e rapidez na busca de algum material ou ferramenta.

**3. *Seiso* (senso de limpeza):** Eliminar a sujeira, inspecionando para descoberta e eliminação das fontes de problemas. A limpeza deve ser encarada como uma oportunidade de inspeção e de reconhecimento do ambiente.

Dentre os benefícios proporcionados pela prática do Seiso tem-se menores despesas de manutenção, motivação para o trabalho e maior vida útil de ferramentas e equipamentos.

**4. *Seiketsu* (senso de padronização):** Padronização resultante do bom desempenho nos três primeiros Ss. Fazer o asseio é conservar a higiene, tendo o cuidado para que os estágios de seleção, ordem e limpeza, já alcançados, não retrocedam. Isto é executado através de padronização de hábitos, normas e procedimentos.

Os principais benefícios deste senso são a padronização e a liberação de energia humana para a construção de um ambiente interior voltada para o bem e a busca contínua da melhoria.

**5. *Shitsuke* (senso de autodisciplina):** Disciplina para manter em andamento os quatro primeiros Ss. cumprir rigorosamente as normas e tudo o que for estabelecido pelo grupo. A disciplina é um sinal de respeito ao próximo

Os principais benefícios da autodisciplina são o desenvolvimento de espírito de equipe e a sinergia entre as pessoas.

## 2.5. GESTÃO DE ESTOQUE

Como o trabalho se propõe a estudar a redução do *lead time*, é importante que seja feita uma revisão sobre alguns conceitos da gestão de estoque, já que na empresa em estudo as perdas devido à espera e aos estoques entre processos correspondem a maior parte do *lead time*, como será visto mais adiante.

O estoque tem a função de regular taxas diferentes de suprimento e consumo de determinado item (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). Segundo estes autores ele pode surgir por diferentes razões:

- **Falta de Coordenação:** neste caso, pode ser impossível ou inviável coordenar as fases de um processo de transformação de forma a atender suas curvas de suprimento e consumo para que estas sejam iguais, por isso, há a necessidade de estoque;
- **Incerteza nas previsões de suprimento e/ou demanda:** este estoque tem a função de proteger o sistema das incertezas com relação ao suprimento, como o atraso na entrega ou a quebra aleatória de uma máquina, e ao comportamento futuro da demanda;
- **Especulação:** neste caso não há problemas de coordenação ou incerteza, mas sim um propósito de criação de valor e realização de lucro, por meio da especulação com a compra e a venda de materiais.
- **Disponibilidade no canal de distribuição:** este estoque visa abastecer um fluxo contínuo de produtos que escoam pelos canais de distribuição até o consumidor. Para que os consumidores encontrem produtos nos pontos de vendas, o canal de distribuição precisa estar preenchido.

Um modelo básico de Gestão de Estoques é o modelo do ponto de reposição. Utilizando esse sistema, “um pedido deve ser emitido quando ainda há estoque suficiente para satisfazer à demanda, do momento em que o pedido é emitido até que o novo estoque chegue” (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000). A Figura 9 ilustra o modelo do ponto de reposição.

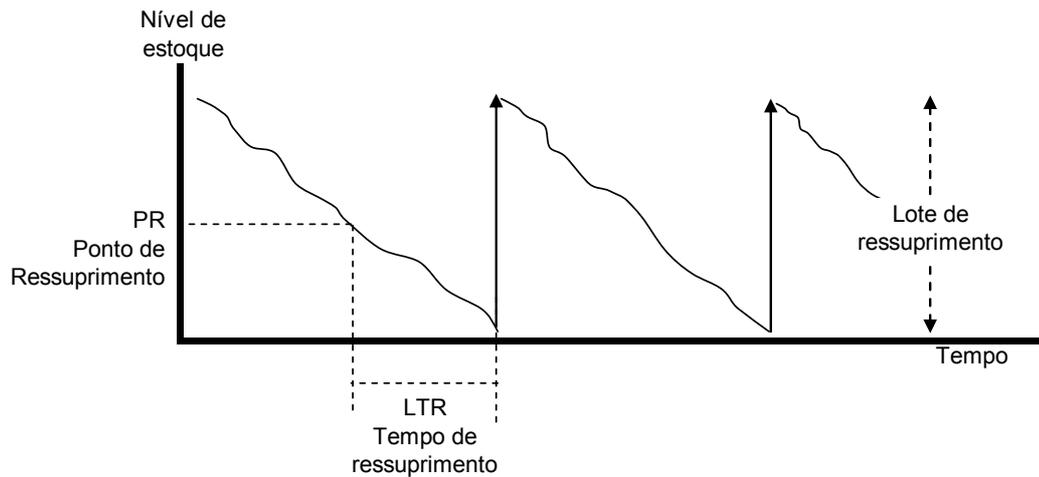


Figura 9 – Modelo do ponto de reposição.

Para que este tipo de modelo possa ser usado, são definidos alguns parâmetros: o tamanho do lote de ressuprimento e o ponto de ressuprimento. Quando a demanda se dá de forma mais ou menos estável é possível simplificar a modelagem assumindo a demanda constante.

Quando há incertezas com relação à taxa de demanda e/ou suprimento surge a necessidade de um estoque de segurança. Dentro da função da administração de materiais, os estoques de segurança, são projetados para absorver as variações na demanda durante o tempo de ressuprimento, ou variações no próprio ressuprimento, dado que é apenas durante este período que os estoques podem acabar e causar problemas ao fluxo produtivo. A Figura 10 ilustra essas duas situações.

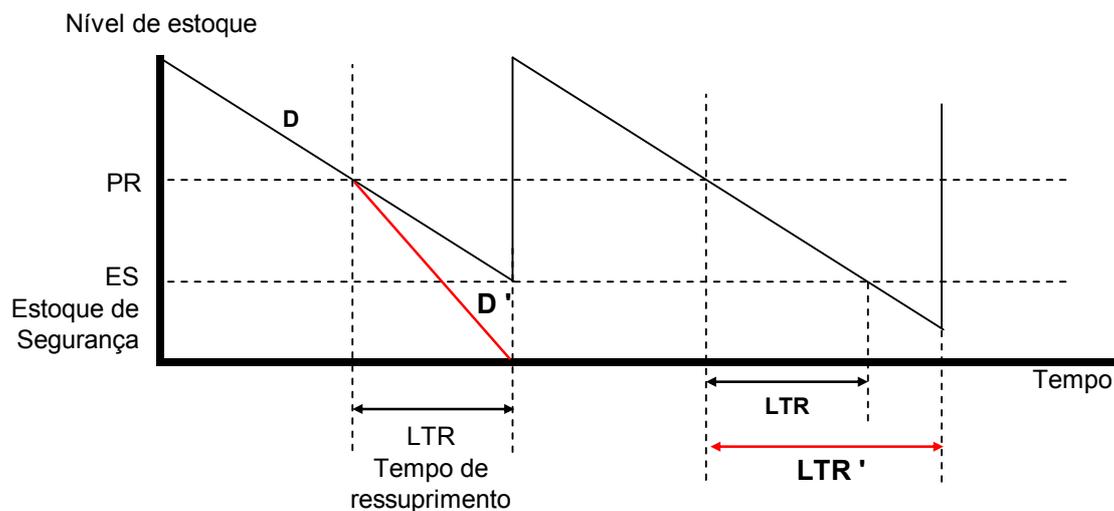


Figura 10 – Estoque de segurança com demanda variável ( $D'$ ) e tempo de reposição variável ( $LTR'$ ).

No primeiro caso, uma variação na demanda  $D$  para  $D'$  faz com que os estoques entrem na faixa de segurança antes de o tempo de ressuprimento  $LTR$  se completar. No segundo caso, admitindo a demanda  $D$  constante, o tempo esperado de ressuprimento  $LTR$  varia para  $LTR'$ , fazendo com que haja necessidade de utilizar os estoques de segurança para manter o fluxo produtivo. Desta forma, quanto maior forem as variações na demanda previstas e/ou variações nos tempos de ressuprimento, maiores deverão ser os estoques de segurança do sistema para garantir o abastecimento.

Assumindo que a demanda apresenta uma distribuição normal, é possível relacionar o nível de serviço que se deseja atender com o dimensionamento do estoque de segurança, como mostra a Tabela 1. Para o caso em que a fonte de variação é o tempo de ressuprimento, a variável que impacta no dimensionamento do estoque de segurança é o desvio padrão da distribuição do *lead time*. Para este caso, o nível do estoque de segurança seria determinado da seguinte forma:

$$E_{seg} = FS \times \sigma_{LTR} \times D \quad (1)$$

Em que:

$FS$  = fator de segurança, determinado em função do nível de serviço requerido;

$\sigma_{LTR}$  = desvio-padrão da distribuição do *lead time* de ressuprimento;

$D$  = demanda (neste caso, considerada constante e conhecida).

Nível de Serviço	Fator de Segurança
96%	1,751
97%	1,880
98%	2,055
99%	2,325
99,9%	3,100
99,99%	3,620

Tabela 1: Fatores de Segurança (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

E o ponto de ressuprimento seria:

$$PR = D \times LT + E_{seg} \quad (2)$$

Dentro do conceito de manufatura enxuta, a variabilidade nos tempos de ressuprimento e/ou na demanda deve ser entendida como um problema (uma perda) do sistema e, como tal, deve ser minimizado. A proposta neste trabalho é de redução dos estoques, por meio da solução dos problemas que geram interferências na taxa de ressuprimento. E isso pode ser obtido com melhoramentos contínuos do sistema produtivo. A ênfase deve ser na correção dos erros e não na convivência com eles através dos estoques de segurança.

## 2.6. QUEBRA DE MÁQUINAS

Para a empresa em estudo, que está se adequando ao sistema de produção enxuta e reduzindo os estoques intermediários, a quebra de um equipamento ou a ocorrência de falhas frequentes pode fazer a fábrica inteira parar, não apenas a operação envolvida. Por isso, a busca por uma produção enxuta traz também a preocupação com a confiabilidade das suas máquina e equipamentos.

Segundo a NBR 5462 *apud* Sellitto (2005), confiabilidade é a probabilidade que um sistema oferece de apresentar resposta ao que se espera dele durante um período de tempo pré-estabelecido e sob certas condições.

Uma máquina precisa funcionar adequadamente para permitir que o produto flua sem grandes interrupções pelo sistema. Isto não significa que a máquina não poderá apresentar falhas. Mas, se elas ocorrerem, é fundamental que sua frequência seja controlada por condições de operação da linha, como o tempo de reabastecimento de um estoque.

As falhas são consideradas inevitáveis e devido à incerteza de sua ocorrência são criados estoques de segurança, que acabam aumentando o *lead time* de fabricação do produto. É imprescindível que sejam usadas ferramentas para minimizar o risco de falhas e tornar a máquina mais confiável. Conseqüentemente, o volume do estoque de segurança poderia ser reduzido.

Para o estudo da disponibilidade de sistemas alguns indicadores são utilizados como o MTBF, que é o tempo médio entre falhas, e o MTBR, tempo médio de reparo. A partir do MTBF e do MTTR pode-se calcular a disponibilidade (D) de um equipamento através da fórmula:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

A distribuição de Poisson é empregada quando se deseja “estudar o número de sucessos em um intervalo contínuo, que pode ser um intervalo de tempo, comprimento, superfície, etc” (COSTA NETO; CYMBALISTA, 2000). Neste trabalho, a distribuição será empregada para analisar a probabilidade de falhas em uma máquina que apresenta uma determinada taxa de falhas.

Para o emprego da distribuição de Poisson algumas condições devem ser atendidas. São elas:

- Eventos independentes;
- Eventos aleatórios;
- Em intervalos muito pequenos, a probabilidade de mais de um sucesso é desprezível;
- Em intervalos muito pequenos, a probabilidade de um sucesso é proporcional ao comprimento do intervalo.

A expressão da distribuição de Poisson para um intervalo  $\Delta t$  pode ser definida como

$$P_n(\Delta t) = \frac{e^{-\lambda \cdot \Delta t} \cdot (\lambda \cdot \Delta t)^n}{n!} \quad (4)$$

em que,  $\lambda$  designa a taxa média de ocorrência do fenômeno considerado (por exemplo: falhas) que por sua vez é o inverso do tempo médio entre suas ocorrências, ou seja:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (5)$$

### 3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS ROLOS

#### 3.1. ROLOS

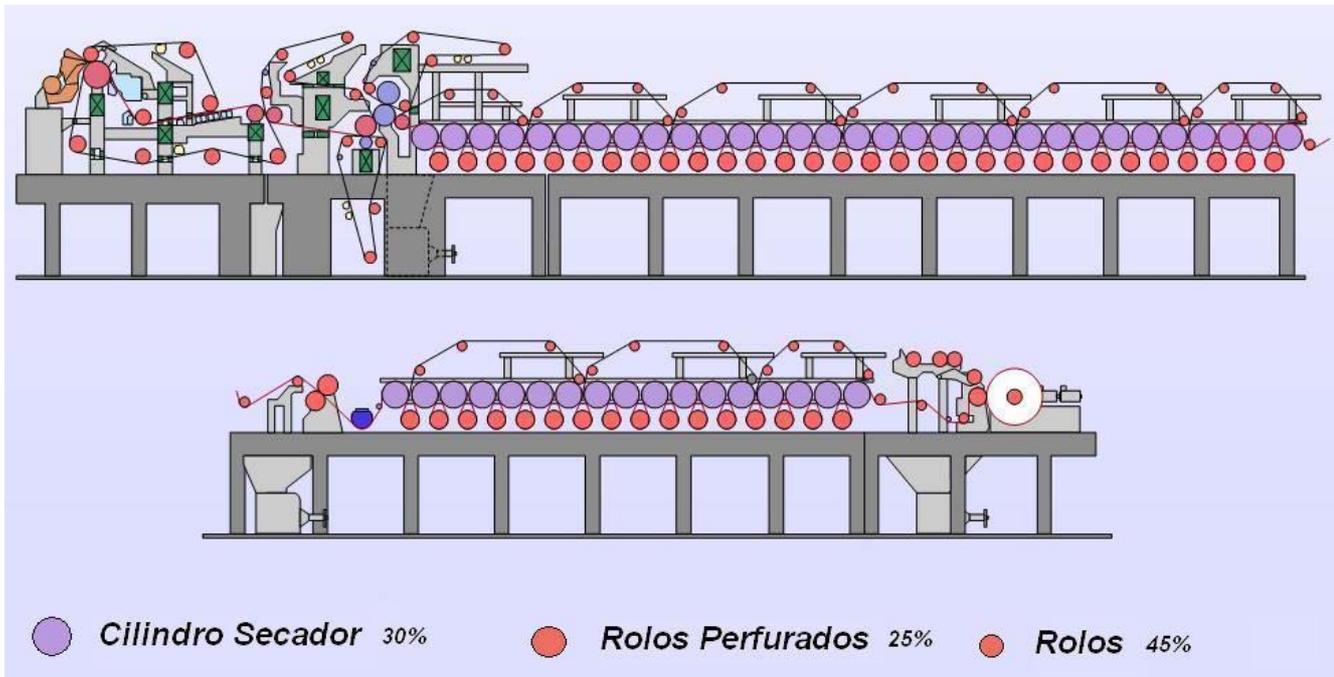


Figura 11 – Vista longitudinal de uma máquina de papel com a disposição dos elementos girantes.

Os rolos são elementos presentes ao longo de praticamente toda extensão da máquina de papel, como mostra a Figura 11. Existem diversos tipos de rolos, cada qual com a sua função:

- **Rolo Guia Tela:** como o próprio nome já diz, sua principal característica é a de guiar a tela durante o seu percurso. Possui uma camisa de aço carbono revestida de borracha dura ou poliuretano. Por operar em um ambiente extremamente agressivo, este rolo deve ser protegido lateralmente com aço inox e os seus mancais devem possuir labirintos para evitar o contato com água e produtos químicos advindos da própria fabricação do papel e da lavagem periódica da tela. Pode ser normal, regulador ou esticador da tela.
- **Rolo Guia Feltro:** possui características semelhantes ao rolo descrito anteriormente, com a diferença de ter um revestimento um pouco mais mole.

- **Rolo Guia Papel:** possui construção semelhante à dos rolos guia/feltro, com a diferença de serem normalmente revestidos de cromo.
- **Rolo de Carga:** é um rolo que fica na parte superior da bobina na Enroladeira, aplicando uma carga ao papel e esticando-o, contribuindo para uma formação homogênea da bobina.
- **Rolo Aplicador:** como o próprio nome diz tem a função de aplicar compostos químicos ao longo da superfície do papel.
- **Tambor:** É o rolo no qual o papel será efetivamente enrolado para formar as bobinas. São rolos compostos normalmente de tubos de aço carbono revestido de borracha.
- **Rolo de Pressão:** sua função principal é suportar a pressão linear na qual ele será submetido. Composto normalmente por uma camisa de ferro fundido cinzento ou chapa de aço carbono soldada, revestida de borracha dura ou poliuretano para o rolo em contato com o papel e borracha mole para o rolo em contato com o feltro.

A Figura 12 mostra um *mix* do volume de produção dos rolos tomando como base a produção no ano de 2005 e 2006. Devido à confidencialidade dos dados, o gráfico apresenta apenas as porcentagens.

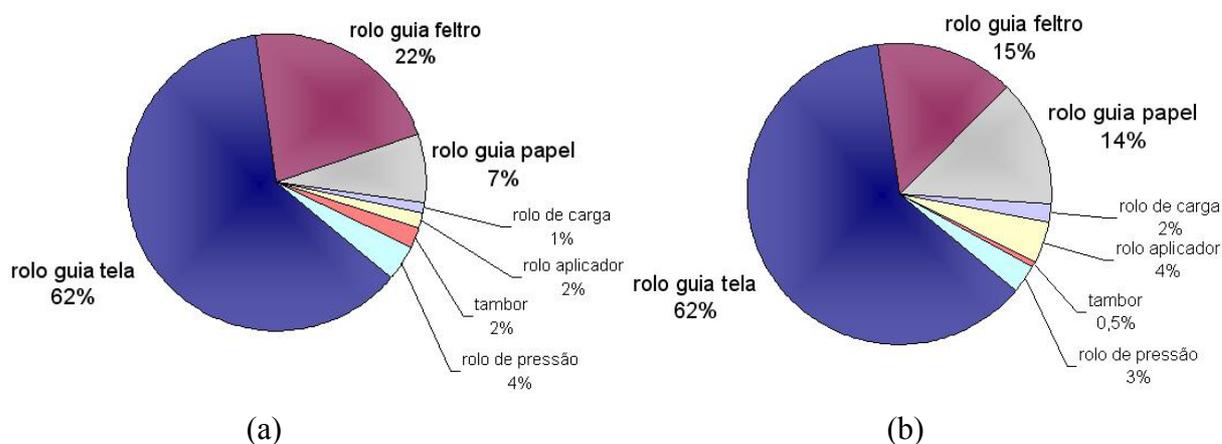


Figura 12 – *Mix* de fabricação no ano de 2005 (a) e 2006 (b).

Embora a variedade de rolos evidencie a complexidade do sistema, percebeu-se que em termos de construção há semelhanças entre alguns tipos de rolos. Com base nesta análise os rolos foram divididos em dois grandes grupos:

- **Rolos guias:** rolos guias tela, feltro e papel, que passam pelos mesmos processos de fabricação e representam a maior parte dos rolos fabricados, cerca de 90%;
  
- **Rolos especiais:** demais rolos (carga, aplicador, tambor e pressão), representam menos de 10% do volume de fabricação e apresentam processos de fabricação bastante distintos, inclusive utilizando recursos diferentes, como tornos e mão de obra na montagem. Além disso, existem rolos que são feitos com camisas especiais adquiridas de terceiros, outros com tampa e ponta fundida, dentre outros processos particulares de cada rolo.

Como foi dito anteriormente, este estudo irá focar nos rolos guias, pois além de representarem a maior parte do volume de produção, eles compartilham os mesmos recursos. Portanto, um impacto no ritmo e no *lead time* de fabricação deste grupo de rolos surtirá efeito na produção de todos os rolos no atendimento às necessidades do cliente com relação a prazo.

Como mostra a Figura 13 o rolo guia é basicamente formado por três partes: a camisa, as buchas e as pontas. Além disso, para balancear o rolo são necessários os elementos de balanceamento e para permitir o funcionamento dos rolos na máquina são necessários os mancais e os rolamentos. E, por fim, no acabamento final é feita a pintura e os últimos ajustes.

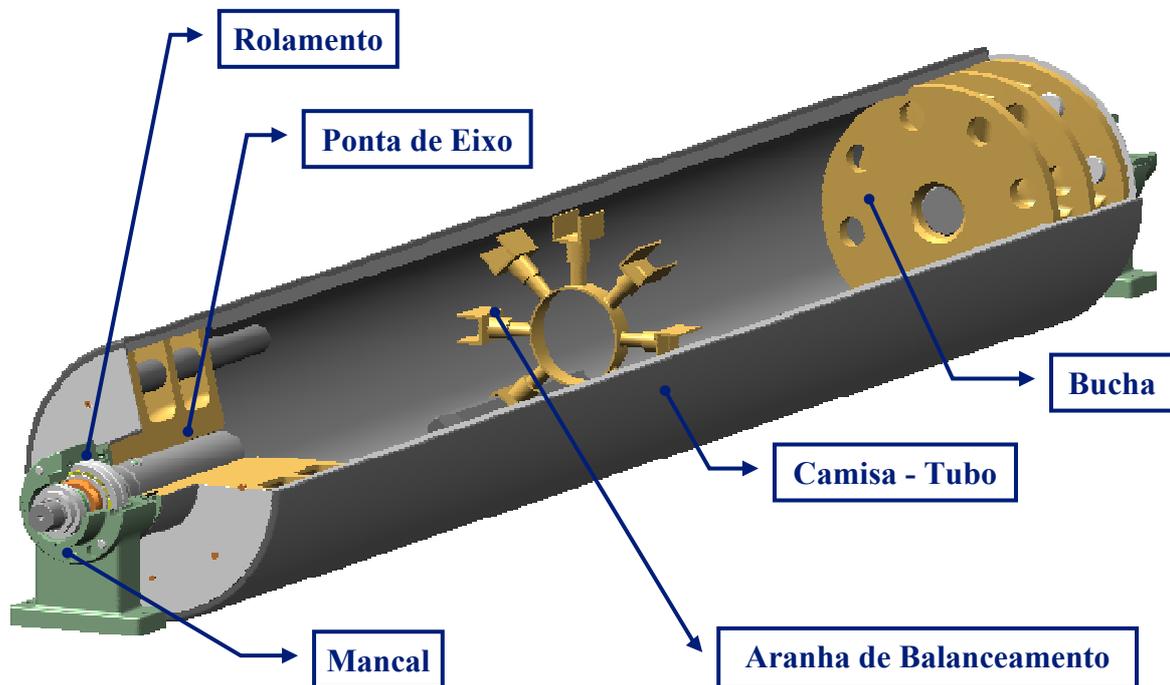


Figura 13 – Partes que compõem um rolo.

Tanto o comprimento como o diâmetro são parâmetros que variam de projeto a projeto, o que acaba dificultando em termos de produção, sobretudo com relação aos ajustes das máquinas. As dimensões do rolo (diâmetro, comprimento e espessura) dependem da posição e da função em que ele irá atuar na máquina de papel, além das configurações do projeto da máquina de papel, como largura, velocidade, tensão da tela e do feltro, dentre outros parâmetros.

As dimensões do rolo impactam diretamente na sua fabricação, pois eles podem limitar o seu processamento em determinadas máquinas, além de dificultar ou até impedir o seu transporte e manuseio. A prensa, por exemplo, que dobra a chapa para formar o rolo, pode não ser capaz de dobrar uma chapa com determinada espessura e/ou tamanho. Isto faz com que rolos com comprimento maior que seis metros tenham de ser feitos com dois segmentos ou mais, para atingir o comprimento desejado, como mostra a Figura 14.

Na linha de produção, os rolos guias são divididos em três grupos:

- **Família 1:** Rolos com apenas um segmento (comprimento < 6 metros)
- **Família 2:** Rolos com dois segmentos (comprimento > 6 metros)
- **Família 3:** Rolos com mais de três segmentos (comprimento > 6 metros)

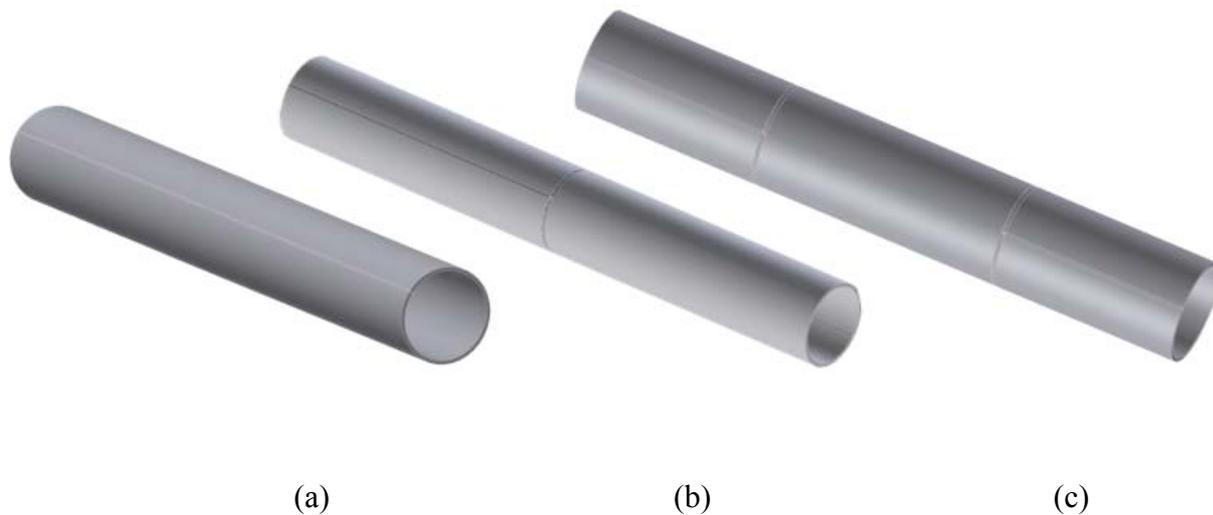


Figura 14 – Rolos com um (a), dois (b) e três (c) segmentos.

Com base nos dados da produção nos anos de 2005 e 2006, constatou-se que a maior parte dos rolos fabricados neste período é representada por rolos de um segmento, conforme mostra a Figura 15.

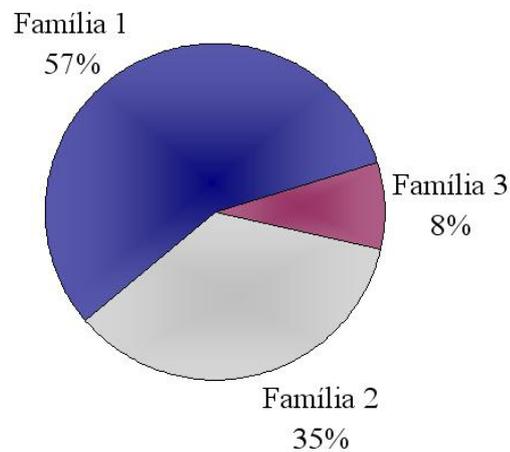


Figura 15 – Volume de fabricação de cada família (produção de 2005 e 2006).

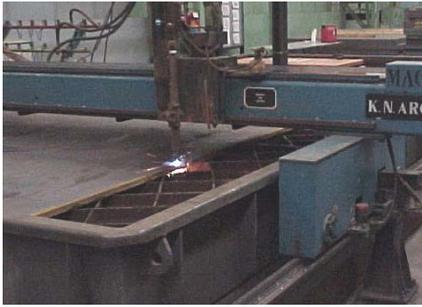
Fazer o rolo em dois segmentos implica em duplicar o trabalho em alguns processos, e até triplicar, no caso de três segmentos. Além disso, o processo de solda será mais demorado, pois além da solda longitudinal, que une as extremidades de uma chapa para formar o rolo, há ainda a solda circunferencial, que une um segmento ao outro.

Tendo em vista as particularidades e a variação nos tempos de ciclo dos rolos com dois e três segmentos, optou-se por estudar a fabricação dos rolos guias com um segmento.

A partir deste ponto, toda vez que for mencionada a palavra rolo, subentende-se que seja um rolo guia da Família 1, ou seja, rolo guia de um segmento.

### 3.2. PROCESSO PRODUTIVO

O processo de produção dos rolos é constituído de oito etapas, como mostra o Quadro 1.

Seqüência	Etapas do Processo / Setor	Tempo de ciclo (TC)	Tempo de <i>setup</i> e ajustes	Nº. de Operadores	Estoque médio observado	Disponibilidade
1	 <p>Máquina: <i>Messer</i></p>	3,5 horas	30 minutos	1	6 chapas 2 dias	2 turnos Operador Compartilhado
2	 <p>Máquina: Prensa</p>	3,2 horas	110 minutos	2	5 rolos 2 dias	2 turnos Máquina compartilhada (80% rolo e 20% estrutura)
3	 <p>Máquina: Solda Arco Submerso</p>	3,8 horas	55 minutos	2	9 rolos 3 dias	2 turnos Operadores compartilhados
4	 <p>Forno</p>	48 horas	-	-	9 rolos 3 dias	2 turnos

Seqüência	Etapas do Processo	Tempo de ciclo (TC)	Tempo de <i>setup</i> e ajustes	Nº. de Operadores	Estoque médio observado	Disponibilidade
5	 <p>Máquina: Prensa</p>	1,5 horas	50 minutos	2	5 rolos 2 dias	2 turnos Máquina compartilhada (80% rolo e 20% estrutura)
6	 <p>Máquina: 4 Tornos</p>	16,3 horas	325 minutos	2	1 rolo 0,5 dia	2 turnos Dedicado a rolos
7	 <p>Máquina: Balanceadeira</p>	2,5 horas	50 minutos	1	2 rolos 1 dia	1 turno Operador compartilhado
8		4,9 horas	60 minutos	1	2 rolos 1 dia	2 turno Operador compartilhado

Quadro 1: Dados do processo de fabricação dos rolos. (Apêndice A)

Exceto na etapa de balanceamento, os processos de produção do rolo operam com dois turnos, sendo o primeiro de 10 horas e o segundo de 9 horas, ambos com 1 hora de almoço e 2 intervalos de 15 minutos. Portanto, o tempo disponível de trabalho por dia é de 16 horas.

A Figura 16 mostra o *layout* dos centros de fabricação dos rolos, que já foi apresentado anteriormente, porém, agora, com a seqüência das operações.

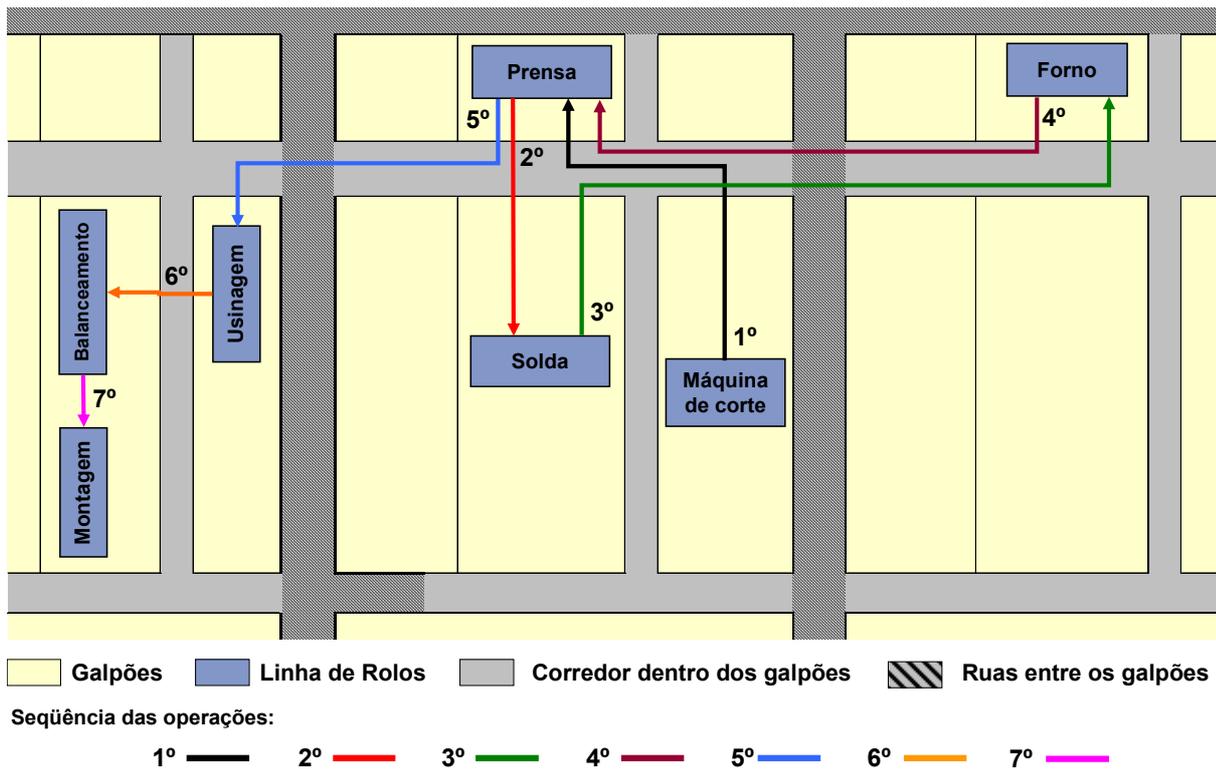


Figura 16 – *Layout* dos centros de produção dos rolos e seqüência das operações.

As seções seguintes apresentam uma descrição mais detalhada das etapas do processo de fabricação do rolo.

### 3.2.1. Corte

A chapa é cortada em uma máquina de corte oxicorte por comando numérico (CNC). O oxicorte é o processo de seccionamento de metais pela combustão localizada e contínua devido à ação de um jato de  $O_2$  de elevada pureza, agindo sobre um ponto previamente aquecido por uma chama oxi-combustível. Envolve os seguintes mecanismos: aquecimento através de chama e reações exotérmicas, seguido de oxidação do metal e posterior expulsão através de jato de  $O_2$ .

Uma das características desta máquina de corte é o fato dela cortar no ângulo desejado, possibilitando assim a formação do chanfro na borda da chapa. Ao unir as duas bordas da chapa para formar o rolo, o chanfro forma uma cavidade, necessária para o processo de solda, pois é onde o material de solda será depositado como indica a Figura 17. Além de cortar a chapa, esta máquina traça as marcas que auxiliarão no processo de dobra da chapa na prensa.

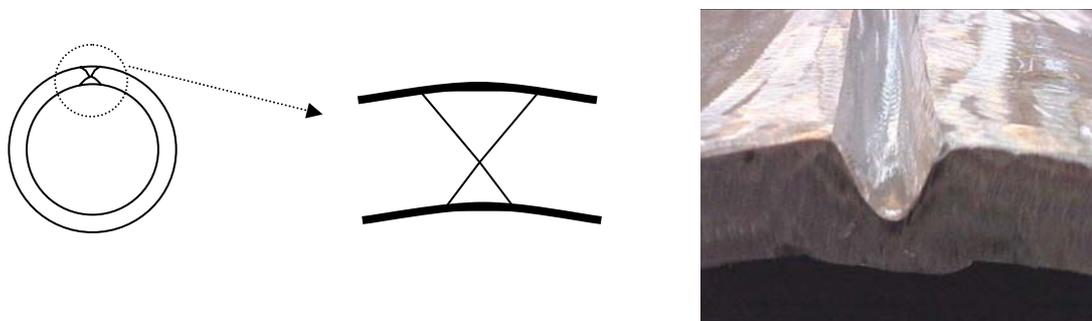


Figura 17 – Chanfro feito na chapa.

Quando há problemas com o mecanismo de chanfrar a chapa, este procedimento acaba sendo feito com um maçarico de corte manual. Além do custo maior, esta prática é mais demorada e implica normalmente em uma qualidade inferior de corte.

### 3.2.2. Prensa

A chapa é curvada na prensa de 1500 toneladas. O processo é bastante manual e é realizado por dois operadores. A prensa é considerada um gargalo na produção de rolos na caldeiraria, pois além de ter o uso de sua capacidade dividido com outros produtos da linha (estruturas), no próprio processo de fabricação do rolo, o rolo passa duas vezes por ela: uma vez para curvar a chapa e a outra para endireitar o rolo (depois do tratamento térmico).

O processo de dobrar a chapa se dá por conformação a frio. Sucessivas batidas dão à chapa a forma de rolo, conforme mostra a Figura 18.



Figura 18 – Processo para curvar a chapa.

Além de sofrer as deformações deste processo, a estrutura do material também é comprometida no processo de solda e no processo de alívio de tensões, durante o tratamento térmico. A combinação destas solicitações sobre o material causa deformações na forma do rolo. A Figura 19 mostra esta distorção de forma exagerada para evidenciar este fenômeno. Estas deformações devem ser reduzidas antes do rolo avançar para o processo seguinte, a usinagem. Por isso, o rolo passa mais uma vez pela prensa.

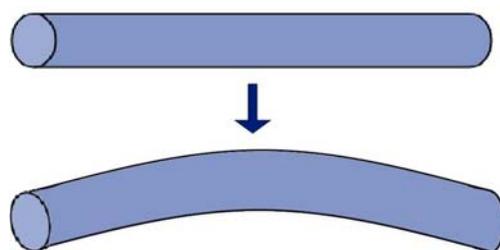


Figura 19 – Efeito “banana” no rolo.

Hoje, 80% da capacidade da prensa é dedicada à produção de rolos. Além disso, em alguns casos, para atender a demanda a prensa trabalha também aos sábados e até mesmo aos domingos.

### **3.2.3. Solda**

O processo de solda é dividido em duas etapas: a solda interna e a solda externa. A célula de solda opera em dois turnos com dois operadores por turno. Normalmente um operador fica dedicado à solda interna e o outro à solda externa. No entanto, ambos realizam esporadicamente operações em produtos de outra linha, como estrutura e caixa de entrada.

O processo de solda utilizado é a solda por arco submerso. Este processo consiste em um arame nu, continuamente alimentado, que produz o arco elétrico com a peça formando assim a poça de fusão. Ambos são recobertos por uma camada de fluxo granular que protege o metal da contaminação atmosférica, além de outras funções metalúrgicas. Portanto, o arco e a poça de fusão não são visíveis.

Assim como o corte, o processo de solda provoca superaquecimento, dilatações pontuais e conseqüentemente deformações, uma vez que as regiões adjacentes estão mais frias servindo como um vínculo mecânico. Isto provoca uma deformação não homogênea da peça, e, quando esta se resfria, as partes que sofreram dilatação se contraem, provocando o aumento da tensão residual e deformação da peça.

### **3.2.4. Ensaios não destrutivos**

Os ensaios não destrutivos são realizados apenas no primeiro turno. Eles servem para verificar se há existência de fissuras na região soldada. Para soldas longitudinais é feito o teste por ultra-som. Quando o rolo tem mais de um segmento há o cruzamento da solda longitudinal com a solda circunferencial. Neste caso, é feita também uma radiografia desta região. Caso sejam identificadas falhas na solda, esta deve ser retrabalhada.

### **3.2.5. Tratamento térmico**

Depois das solicitações sofridas pelo material no processo de conformação e de solda, o rolo passa por tratamento térmico para alívio de tensão. O tratamento térmico é realizado uma vez por semana, com lotes da produção de uma semana (até quinze rolos), e tem um tempo médio de duração de dois dias. A soma dos estoques médios gerados antes e depois do tratamento térmico é equivalente à demanda de seis dias.

### **3.2.6. Usinagem**

A célula de usinagem dos rolos opera em 2 turnos, sendo dois torneiros mecânicos por turno e quatro tornos:

- Torno 11 (geralmente utilizado na operação de desbaste)
- Tornos 13 e U900 (geralmente utilizados na operação de torneamento da região de encaixe da bucha - abrir boca)
- Torno Poreba (geralmente utilizado na operação de acabamento)

Os tornos não operam por comando numérico (CNC) e isto exige que o operador acompanhe parte dos processos. A Figura 20 mostra um *layout* da célula de usinagem com a disposição das máquinas e dos operadores.

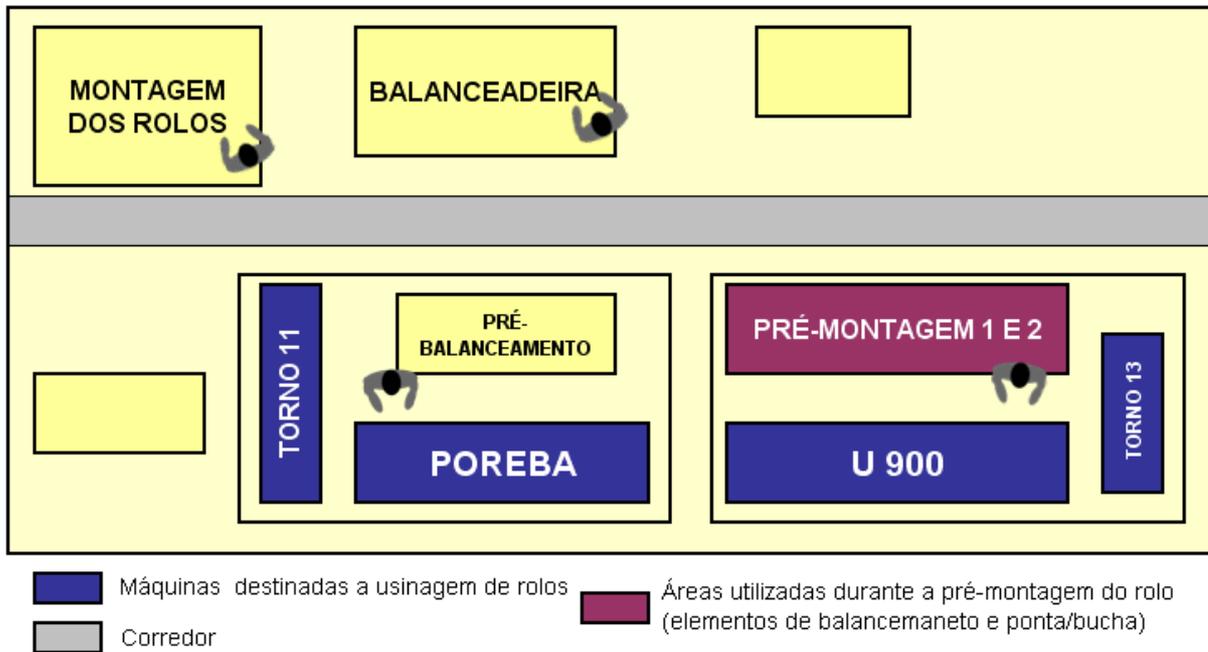


Figura 20 – Layout: célula de usinagem, balanceadeira e montagem.

O rolo é usinado ao longo do diâmetro externo e no diâmetro interno na região de encaixe da bucha. Depois são montados também os elementos de balanceamento e o conjunto ponta / bucha. Por fim, é feito torneamento para dar o acabamento.

As operações na célula de usinagem são divididas em 5 etapas que ocorrem em seqüência. São elas:

**1º) Desbastar:** esta operação é realizada em três passes. Sua função é retirar o excesso de material e obter forma e dimensão próximas das finais. É nesta etapa que ocorre a maior retirada de material. Para o alinhamento e centralização do rolo no torno é necessário identificar as regiões com excesso de material. Para isso, é feito o balanceamento estático, uma série de atividades que é executada antes do segundo e do terceiro passes do desbaste. Estas atividades embora não agreguem valor ao produto são necessárias, já que um único passe não garantiria a cilindricidade do rolo

prevista em projeto. Na Tabela 2 é apresentado o tempo de ciclo e de *setup* desta operação.

Desbastar	minuto
Tempo de ciclo	360
Tempo de troca: <i>setup</i> + ajustes	145

Tabela 2: Informações sobre o processo de desbaste do rolo.

**2º) Abrir boca:** neste processo é usinado o diâmetro interno na região de encaixe da bucha. O ajuste do rolo no torno não é tão complexo como no caso do desbaste. Na Tabela 3 é apresentado o tempo de ciclo e de *setup* desta operação.

Abrir Boca	minuto
Tempo de ciclo	160
Tempo de troca: <i>setup</i> + ajustes	40

Tabela 3: Informações sobre o processo de abrir boca no rolo.

**3º) Montar elementos de balanceamento:** este processo é manual e consiste em colocar o dispositivo, aranha de balanceamento, no interior do rolo. Um cabo longo com um *stop* introduz o dispositivo no rolo. Na etapa de balanceamento, os pesos serão nele alocados. Esta etapa é relativamente rápida e não requer a utilização de máquinas. Na Tabela 4 é apresentado o tempo de ciclo e de *setup* desta operação.

Montar Elementos de Balanceamento	minuto
Tempo de ciclo	30
Tempo de troca: <i>setup</i> + ajustes	15

Tabela 4: Informações sobre o processo de montar elementos de balanceamento no rolo.

**4º) Montar o conjunto bucha/ponta:** nesta etapa o rolo é dilatado por aquecimento e o conjunto bucha / ponta é encaixado por interferência. Na Tabela 5 é apresentado o tempo de ciclo e de *setup* desta operação.

Montar Bucha/Ponta	minuto
Tempo de ciclo	65
Tempo de troca: <i>setup</i> + ajustes	50

Tabela 5: Informações sobre o processo de montar ponta/bucha no rolo.

**5º) Acabamento:** nesta etapa obtém-se a rugosidade e as dimensões finais de projeto do rolo. Na Tabela 6 é apresentado o tempo de ciclo e de *setup* desta operação.

Acabamento	minuto
Tempo de ciclo	360
Tempo de troca: <i>setup</i> + ajustes	75

Tabela 6: Informações sobre o processo de acabamento na usinagem do rolo.

Apesar de ambos operadores da célula de usinagem estarem habilitados a executar qualquer uma das cinco etapas descritas acima, geralmente um operador fica responsável pelo desbaste e abrir boca e o outro pelas operações de montagem da aranha de balanceamento e do conjunto ponta/bucha e pelo acabamento.

Depois de usinado, o rolo segue para o balanceamento. Os rolos usinados no segundo turno têm de esperar o dia seguinte para serem balanceados, já que o balanceamento opera em apenas um turno. Esta perda por espera gera um estoque médio de dois rolos.

### 3.3. PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

A negociação da venda de uma máquina de papel pode durar até um ano, porém, a partir da intenção de compra um *forecast* é gerado com base na carga atual.

Caso a venda se concretize o Departamento de Vendas emite oficialmente a *Sales Order* (SO) para que todos os envolvidos tenham conhecimento do projeto. Uma reunião de aprazamento é realizada para definir um cronograma macro com as seqüências de fabricação. Além disso, o Programador da Produção orientará a Engenharia quanto à seqüência de desenvolvimento dos desenhos.

Todo projeto apresenta um código de identificação que é a OP (Ordem de Produção). Ao receber o escopo do projeto a Engenharia aloca cada equipamento em um grupo, que representa uma parte específica da máquina (seção de formação, seção de prensa, etc). E em cada grupo os itens recebem ainda um código, chamado de posição do item. Portanto, os itens apresentam um código no formato indicado pela Figura 21.

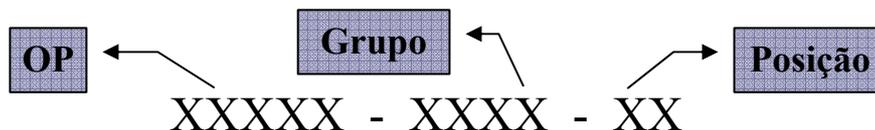


Figura 21 – Código dos itens que constam na LP.

Depois de classificar todos os itens que compõem o produto final, a engenharia lança a lista de peça (LP). Tudo que consta na LP faz parte do escopo do projeto.

A Tabela 7 apresenta as principais matérias primas e itens fabricados externamente utilizados na produção do Rolo:

<b>Itens de Estoque</b>	<b>Itens Comprados</b>	<b>Itens de <i>Outsourcing</i></b>
Chapa	Rolamento	Mancal
Parafusos		Ponta de Eixo
Porcas		Bucha
Outros itens		Aranha de Balanceamento

Tabela 7: Matérias-primas e itens que compõem o rolo.

Com a lista de peças em mãos o responsável pela programação da produção gera o cronograma de fabricação dos rolos. A programação é semanal e é feita para o processo de usinagem. O cronograma não considera possíveis retrabalhos.

Para acompanhar os projetos de rolos são realizadas reuniões semanais, das quais participam os gerentes dos projetos, representantes dos departamentos de compras, *outsourcing* e fundição, dentre outros envolvidos, além do próprio responsável pela programação da produção de rolos. A reunião tem o intuito de apresentar e monitorar a situação atual dos projetos e acompanhar as próximas etapas.



## 4 ESTUDO DO FLUXO DE VALOR

Depois de se familiarizar com o processo de fabricação dos rolos, um dos primeiros esforços para aprofundar este estudo foi desenhar o mapa de fluxo de valor do estado atual, desde a venda do produto até a entrega ao cliente. O estado atual reflete o fluxo de materiais e informação, junto com a situação atual dos recursos disponíveis na empresa.

Embora um trabalho que não agregue valor possa ser executado em qualquer ponto do processo de produção do rolo, percebe-se que a sua ocorrência é mais freqüente nos pontos de transferências organizacionais. Esta é outra razão importante pela qual o processo inteiro, e não apenas o trabalho executado em uma determinada área funcional, deve ser documentado. Muitos trabalhos que não agregam valor podem passar despercebidos se os fluxos de trabalho forem documentados somente dentro de um departamento ou área funcional.

Como a produção é sob encomenda, a empresa produz para a expedição e não para um supermercado. Apesar disto os processos não são puxados pelo cliente, mas sim empurrados fluxo abaixo. Embora a célula de usinagem seja o processo puxador, algumas etapas acabam trabalhando com cronogramas e não com *kanban*. Isto ocorre principalmente pelo fato de alguns recursos serem compartilhados. Em alguns pontos, apenas a utilização do *kanban* pode não garantir o fluxo contínuo ou então implicar em atrasos, já que há uma dificuldade em dimensionar o *kanban* considerando as variações dos tempos de ciclo dos próprios rolos e dos outros produtos que compartilham o mesmo recurso.

Na representação do mapa a parte superior retrata o fluxo de informações e abaixo é descrito o processo de fabricação. A linha abaixo dos processos representa as parcelas dos tempos de processamento e do *lead time* do fluxo.

#### 4.1. MFV DO ESTADO ATUAL

Para facilitar a visualização, o mapa do fluxo de valor do estado atual é apresentado a seguir em folha de papel A3.

Hoje, o *lead time* de fabricação dos rolos guias é de quase 20 dias, como mostra o MFV do estado atual. Há 4 anos, o rolo demorava em média 4 meses para ser fabricado como indica a Tabela 8. Segundo a empresa, a redução de mais de 80% do *lead time* é atribuída, sobretudo, à redução de estoques entre processos. Esta redução foi o resultado de melhorias no processo, como a redução do tempo de *setup*, a padronização do trabalho e uma maior confiabilidade nos tempo de entrega dos itens de *outsourcing*, dentre outras melhorias específicas.

ANO	2003	2004	2005	2007
<i>LEAD TIME</i>	122 DIAS	70 DIAS	38 DIAS	19,5 DIAS

Tabela 8: Evolução do lead time de fabricação dos rolos guias.

Dentre as etapas do processo de fabricação dos rolos, o tratamento térmico é o mais demorado, em média dois dias. Além disso, por operar uma vez por semana, o fluxo do produto é interrompido e um estoque médio de três dias é encontrado depois da atividade de solda, aguardando a entrada no forno, e depois do tratamento térmico, aguardando a entrada na célula de usinagem.

A Figura 23 mostra as etapas de produção do rolo ordenadas por duração do tempo de ciclo. O tratamento térmico, que leva 48 horas, não está representado na figura. Como o tratamento segue uma curva de aquecimento de acordo com um procedimento padrão, não seria possível influenciar no seu tempo de ciclo. Por isso, ele foi desconsiderado desta análise.

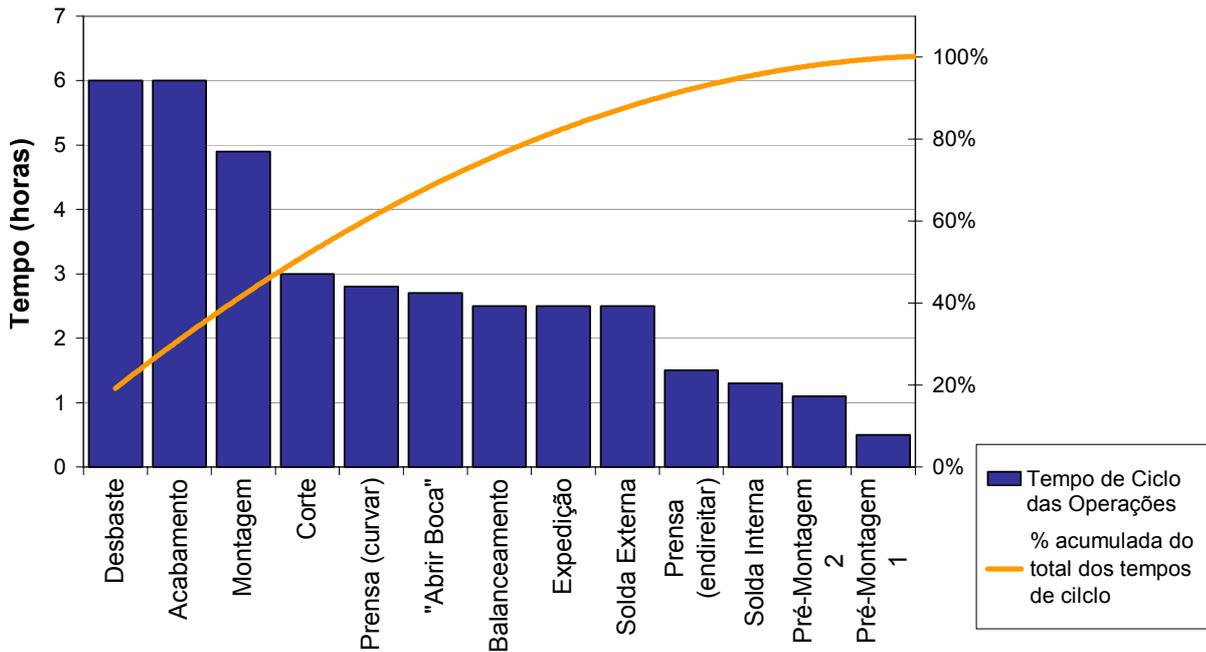


Figura 23 – Tempo de ciclo das etapas de fabricação do rolo.

As interrupções no fluxo ocasionam esperas e geram estoques entre algumas etapas do processo, como mostra a Figura 24 ordenando os estoques pela sua duração.

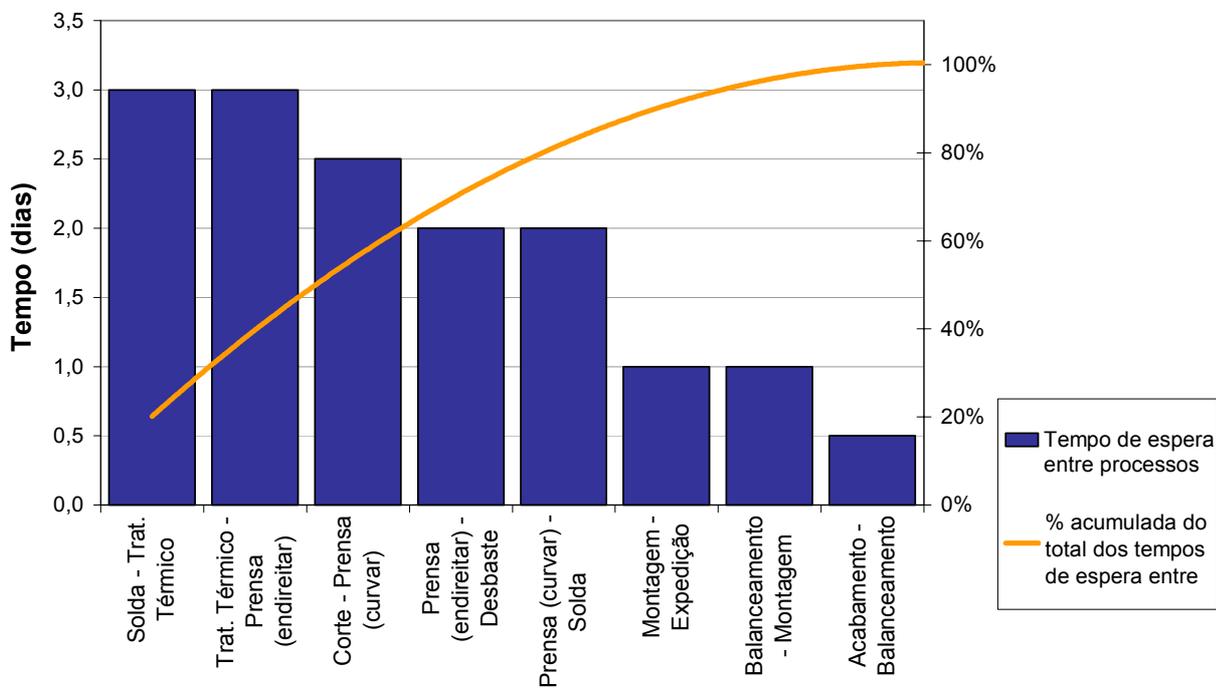


Figura 24 – Tempo médio de duração dos estoques entre as etapas.

## 4.2. DELINEAMENTO DO MFV DO ESTADO FUTURO

Com base na carga de 2008 e nas possibilidades de entrada de novos pedidos, considera-se a hipótese de que haja, no mínimo, um aumento de 20% da demanda. Com isso, mantendo-se o quadro de operadores constante e a duração dos turnos iguais, o *takt time* cairia em 17% e passaria a ser de 320 minutos.

Para o delineamento do estado futuro será admitida uma necessidade de produção de 3 rolos por dia, que implica num *takt time* de 320 minutos, ou seja, um ritmo médio de conclusão de um rolo a cada cinco horas, aproximadamente.

Devido aos diferentes tempos de ciclo e à capacidade compartilhada de alguns recursos, não foram identificadas grandes oportunidades de criação de fluxo contínuo na produção do rolo. Como foi visto no MFV do estado atual, a célula de usinagem e solda trabalham com fluxo contínuo, ao sair de uma máquina o rolo já segue para o próximo processo sem grandes interrupções. Observou-se que a etapa de balanceamento do rolo, processo cliente da célula de usinagem, poderia ser incorporada a esta célula evitando a espera do rolo para o balanceamento. Há também a possibilidade de criar fluxo contínuo com a célula de montagem. Embora o operador da montagem seja compartilhado, caso seja possível ter um controle sobre a sua disponibilidade de trabalho, o rolo poderia ser montado logo que saísse da balanceadeira, evitando a espera entre os processos.

A redução de estoques, por sua vez, foi vista como um grande passo na busca de um *lead time* mais enxuto e por isso foi considerada em alguns pontos do estado futuro. Segundo Ohno (1997) a redução do nível de estoque permite a gerência enxergar os problemas de produção e promove a realização de esforços para a eliminação dos mesmos. Como exemplos de tais problemas é possível citar: descontinuidade de processos, falta de qualidade, falta de confiabilidade de equipamentos, alto tempo de fila e preparação dos equipamentos e má utilização dos recursos produtivos. No estado atual, foram identificados alguns estoques que encobrem os problemas descritos acima, como os problemas da confiabilidade da máquina de corte, dos altos tempos de *setup* da prensa e da dificuldade de programação dos recursos compartilhados, como a prensa.

Além disso, algumas operações com tempo de ciclo maior que 320 minutos devem ser reduzidas a um tempo ligeiramente inferior ao *takt time*. Para isso, melhorias que visem à redução do tempo de operação devem ser abordadas, por exemplo, o método SMED agilizando o tempo de troca de ferramentas e tempos de *setup* em geral.

A Tabela 9 apresenta o possível impacto do ganho esperado, caso o fluxo de produção dos rolos atinja o estado futuro delineado.

	ATUAL	FUTURO	Impacto
<i>Takt time</i>	380 minutos	320 minutos	Redução de 16 %
Produção	50 rolos / mês	60 rolos / mês	Aumento de 20 %
<i>Lead time</i>	18,9 dias	9,5 dias	Redução de 50 %
Redução no volume de estoque (Tempo de duração do estoque)	39 peças <sup>1</sup> (~15 dias)	17 peças (~ 6 dias)	Redução de 56 %

Tabela 9: Indicadores de resultado comparando a situação atual com a situação futura.

Para facilitar a visualização o mapa é apresentado em folha de papel A3. As necessidades de melhoria para atingir um nível mais alto de desempenho em algum ponto no futuro são destacadas no mapa através dos ícones de necessidade de *kaizen*.

<sup>1</sup> O volume de estoque é calculada pela soma dos itens em processo. Por exemplo, no MFV do estado atual tem-se: 6 chapas + 28 tubos (tubo é apenas a camisa do rolo (Figura 13) + 5 rolos, que totalizam 39 peças.

### 4.3. SELEÇÃO DOS PONTOS A SEREM ANALISADOS

Para viabilizar os fluxos de material e de informação propostos no MFV do Estado Futuro, algumas melhorias serão necessárias como indica a Tabela 10.

Código	Objetivo	Ação de melhoria
M1	Reduzir estoque entre a máquina de corte e a prensa	Aumentar a confiabilidade da máquina de corte, diminuir o tempo de ciclo da operação de corte e criar fluxo FIFO com no máximo 3 chapas
M2	Reduzir estoque entre a prensa e a solda	Nivelar carga, reduzir tempo de <i>setup</i> da prensa e programar a disponibilidade de solda para rolos
M3	Reduzir estoque médio antes e depois do tratamento térmico	Realizar dois tratamentos térmicos por semana ou viabilizar o tratamento térmico por indução
M4	Reduzir estoque entre a prensa e a célula de usinagem	Nivelar carga e reduzir tempo de <i>setup</i> da prensa e criar fluxo FIFO com no máximo 3 rolos
M5	Reduzir o tempo de ciclo do processo de desbaste na célula de usinagem	Reduzir tempo de <i>setup</i>
M6	Reduzir o tempo de ciclo do processo de acabamento na célula de usinagem	Reduzir tempo de <i>setup</i>
M7	Eliminar estoque entre a célula de usinagem e o balanceamento	Habilitar operadores da célula de usinagem a operarem a balanceadeira e criar fluxo contínuo
M8	Eliminar estoque entre a balanceadeira e a célula de montagem	Diminuir o tempo de ciclo da montagem para permitir um fluxo contínuo e melhorar a programação da disponibilidade do operador
M9	Reduzir estoque depois da montagem	Diminuir tempo de secagem da tinta

Tabela 10: Melhorias necessárias para atingir o estado futuro.

Sendo **M1**, **M2**, **M3**, **M4**, **M5**, **M6**, **M7**, **M8** e **M9** os códigos utilizados para representar as melhorias.

As melhorias **M1**, **M5** e **M7** puderam ser plenamente ou parcialmente atendidas e o estudo elaborado para isso se encontra no Capítulo 5. As outras melhorias não puderam ser atendidas ou por falta de informações necessárias para a análise ou por exigirem custos

elevados. As melhorias que não foram atendidas no desenvolvimento deste trabalho e as respectivas justificativas são apresentadas a seguir:

- **M2 – Reduzir estoque entre a prensa e a solda:** ambas as etapas são compartilhadas com outros produtos da linha o que dificulta a análise, sendo que as informações disponíveis se referem apenas a produção de rolos.
- **M3 – Reduzir estoque médio antes e depois do tratamento térmico:** o estoque médio poderia ser reduzido pela metade caso houvesse duas fornadas por semana. Sabe-se que há opções para realizar um segundo tratamento térmico por semana, por exemplo, utilizando os outros fornos disponíveis na empresa ou até mesmo terceirizando uma fornada. No entanto, o custo por quilo, a princípio, inviabilizaria estas alternativas. Caso o ganho obtido com a redução do estoque resulte num montante superior ao custo de se ter uma fornada a mais, esta alternativa poderia ser levada em consideração. Como o trabalho não aborda o aspecto dos custos esta análise não será considerada. Apesar disto, é válido comentar que em concorrentes no exterior o *lead time* chega a ser até 50% menor por causa do tipo de tratamento térmico. Usa-se neste caso o tratamento térmico por indução, processo em que uma manta térmica é usada para recobrir o rolo e o aquecer até uma determinada temperatura com uma velocidade maior que os tratamentos convencionais. No entanto, além do alto investimento, pode ser que o custo por quilo seja superior ao que é hoje, o que cairia novamente em uma análise de custo e benefício.
- **M4 – Reduzir estoque entre a prensa e a célula de usinagem (criar fluxo FIFO):** pelo fato da prensa ser compartilhada esta análise também exigiria informações de outros produtos.
- **M6 – Reduzir o tempo de ciclo do processo de acabamento na célula de usinagem:** não foram identificadas oportunidades de redução do tempo de *setup*.
- **M8 – Eliminar estoque entre a balanceadeira e a célula de montagem:** não foram identificadas oportunidades para redução do *lead time* da montagem.
- **M9 – Reduzir estoque depois da montagem:** nesta etapa a espera dos rolos para seguirem para o processo seguinte, a expedição, é atribuída, sobretudo, ao tempo necessário para secar a pintura. Um estudo sobre outras possibilidades de tintas ou um processo para acelerar a secagem poderiam ser realizado. No entanto, o trabalho não contemplará esta abordagem.

## 5 DESENVOLVIMENTO DE PROPOSTAS DE MELHORIAS

### 5.1. ESTUDO DA REDUÇÃO DO *LEAD-TIME*

Segundo Womack e Jones (1998) um dos princípios do *Lean* é fazer com que o valor flua sem interrupções. Pelo mapa do fluxo de valor do estado atual percebe-se que o fluxo apresenta várias interrupções ao longo do processo. Estas interrupções geram desperdício de superprodução e espera, evidenciados pelos estoques entre os pontos de transferência organizacional. A Figura 25 ilustra que estes estoques entre processos contribuem com 77% do *lead time*. Portanto, se o propósito é reduzir o *lead time*, estes estoques devem ser identificados e minimizados.

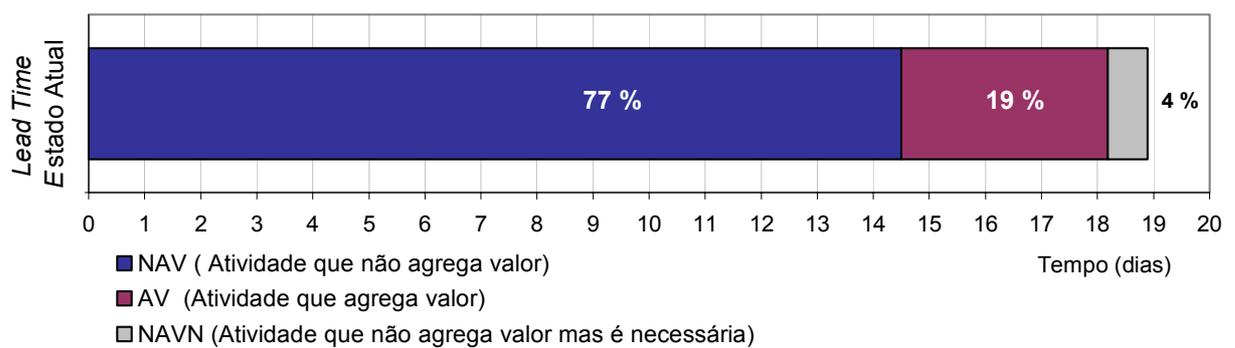


Figura 25 – Composição do *lead time* de fabricação dos rolos.

### 5.1.1. M1 – Reduzir estoque entre a máquina de corte e a prensa

Além da influência do material e suas dimensões e do operador, as paradas aleatórias e repentinas da máquina de corte para manutenção corretiva têm comprometido o tempo de ressuprimento do processo cliente, a prensa. Isto reflete a baixa confiabilidade da máquina.

O estoque utilizado atualmente para cobrir esta incerteza no fornecimento varia entre um máximo de 9 e um mínimo de 3 chapas. Para controlar a produção utiliza-se um sistema *kanban* visual como o da Figura 26.

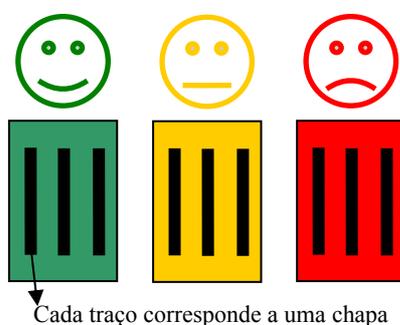


Figura 26 – *Kanban* de produção da máquina de corte.

Nestas circunstâncias o ponto de pedido é quando a primeira chapa do *kanban* amarelo é retirada e então a máquina é acionada para produzir e preencher o *kanban*. O estoque de segurança é representado pelas 3 chapas do *kanban* vermelho. Caso aconteça algum problema na máquina e ela não consiga abastecer o estoque antes que as outras duas chapas do *kanban* amarelo sejam consumidas, o estoque de segurança supre a necessidade da prensa e evita que o fluxo pela mesma pare.

Neste caso, embora o *lead time* de ressuprimento possa sofrer influência de outros fatores, percebe-se pelo tempo médio entre falhas de 10 dias, que a confiabilidade da máquina é decisiva no dimensionamento do estoque de segurança.

Primeiro será feita uma análise da situação atual para verificar se este estoque está adequadamente dimensionado para esta situação. E, em seguida, serão estudadas alternativas para diminuir as incertezas quanto ao tempo de ressuprimento deste estoque, neste caso, aumentando a confiabilidade da máquina. E, por fim, analisar o impacto da melhoria proposta no volume de chapas em estoque.

### 5.1.1.1. Dimensionamento do estoque

Para o cálculo do estoque de segurança ( $E_{seg}$ ) são utilizadas as informações da Tabela 11 (CORRÊA; GIANESI; CAON, 2000).

FS (98%) =	2,055
D =	3 chapas / dia ~ 3/16 chapas / hora
$\bar{X}_{LTR}$ =	10,5 horas
$S_{LTR}$ =	2,8 horas

Tabela 11: Dados para dimensionamento de estoque (Apêndice B).

Para atender a demanda da prensa, de três chapas por dia, foi admitido um nível de serviço de 98%, que de acordo com o responsável pela programação da produção dos rolos, é suficiente para viabilizar um fluxo sem que haja grandes interrupções. A média do *lead time* de ressuprimento é estimada por  $\bar{X}_{LTR}$  e o desvio padrão do ressuprimento por  $s$ , ambos foram calculado no Apêndice B. Utilizando a Fórmula 1 da seção 2.5, chega-se a um estoque de segurança necessário de duas chapas.

$$E_{seg} = 2,055 \times 2,8 \times \frac{3}{16} = 1,1 \sim 2$$

Admitindo-se um estoque de segurança de duas chapas e sendo a demanda de três chapas por dia, conclui-se que o estoque necessário é de cinco chapas, como é ilustrado na Figura 27.

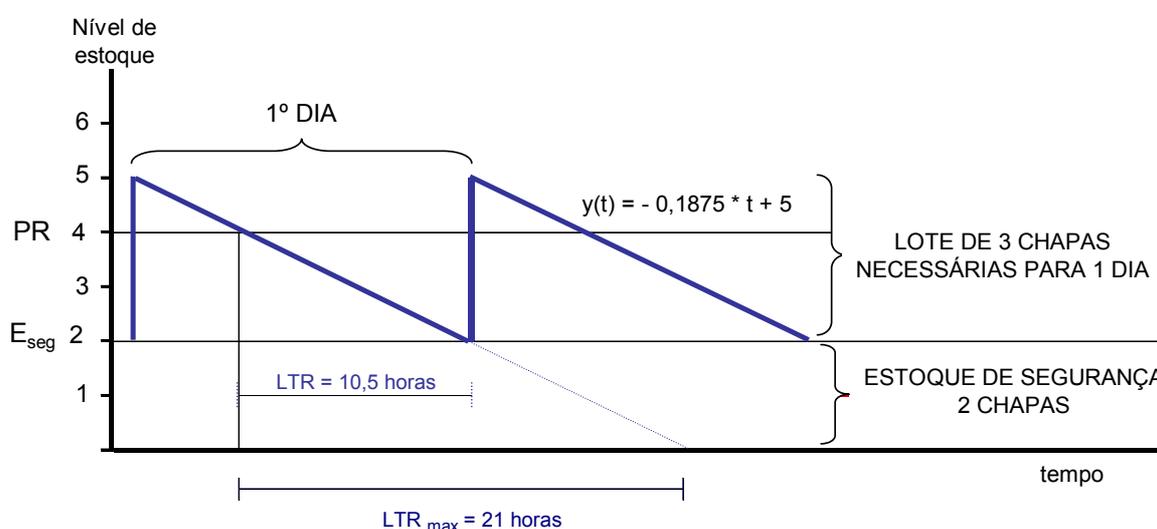


Figura 27 – Estoque proposto para a máquina de corte.

Para esta situação o ponto de pedido calculado é de 4 chapas, ou seja, quando o estoque estiver com 4 chapas, a máquina começa a produzir o próximo lote de 3 chapas.

$$PR = \frac{3}{16} \times 10,5 + 2 = 3,97 \sim 4$$

Percebe-se que o estoque depois da máquina de corte está superdimensionado. O estoque médio que antes era de 6 chapas pode ser reduzido para 3,5 chapas atendendo a um nível de serviço de 98%.

#### 5.1.1.2. Estudo do aumento da confiabilidade da máquina

Para o estudo da confiabilidade da máquina de corte foram utilizados os dados da Tabela 12, de acordo com algumas informações fornecidas pela empresa apresentadas na Tabela 25 do Apêndice B.

MTBF (tempo médio entre falhas) =	10 dias
MTTR (tempo médio de reparo) =	3 horas

Tabela 12: Dados de manutenção corretiva da máquina de corte.

Para o estoque em estudo o *lead time* de ressuprimento é de 10,5 horas. Com um estoque de segurança de duas chapas tem-se um tempo de ressuprimento máximo admissível de 21 horas, conforme foi apresentado na Figura 27, ou seja, a máquina poderia quebrar e ficar parada por 10,5 horas sem comprometer o fluxo. Para a prensa ficar sem abastecimento a máquina teria de quebrar, por exemplo, mais de três vezes seguidas admitindo-se que em cada quebra se levasse um tempo de reparo próximo do MTTR, que é de 3 horas. No entanto, o tempo de reparo pode chegar até 9 horas dependendo do tipo de falha, como mostra a Figura 28.

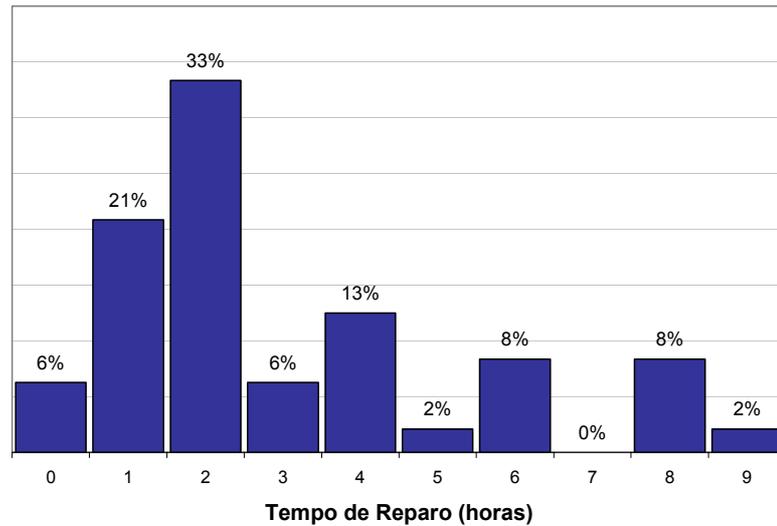


Figura 28 – Tempos de reparo da máquina de corte.

Isto significa que para o pior caso, tempo de reparo igual a 9 horas, a máquina só poderia quebrar uma vez durante o intervalo do tempo de ressuprimento. Porém, se o estoque de segurança for de apenas uma chapa o tempo de ressuprimento máximo cairia para 16 horas, ou seja, a máquina poderia ficar parada no máximo 5,5 horas. No pior caso, quebra com tempo de reparo de 9 horas, o sistema já seria interrompido com apenas uma quebra.

Considerando a frequência média de falhas da máquina igual a 0,1 falha por dia e admitindo-se que a probabilidade de ocorrência destas falhas tenha uma distribuição de Poisson, a probabilidade de que não aconteça nenhuma falha durante o tempo de ressuprimento é de 93,6%. Esta probabilidade foi calculada utilizando a fórmula 4 apresentada na seção 2.6.

$$P_0(10,5) = \frac{e^{-0,1 \cdot \frac{10,5}{16}} \cdot (0,1 \cdot \frac{10,5}{16})^0}{0!} = 93,6\% \quad (4)$$

De acordo com as probabilidades apresentadas na Tabela 13, um estoque de segurança com duas chapas atenderia o nível de serviço desejado, já que a probabilidade do fluxo não parar nestas condições é maior que 98%, que é o nível de segurança desejado, apresentado na seção 5.1.1.1. Porém, para um estoque de segurança com apenas uma chapa, a probabilidade de não ocorrer nenhuma falha durante o tempo de ressuprimento é igual a 93,6%. Nesta situação, o estoque não atenderia o nível de serviço desejado.

Estoque de Segurança	Tempo de resposta que a máquina tem para não parar o fluxo	Quantas vezes a máquina pode quebrar considerando o pior caso (tempo de reparo=9horas)	Probabilidade do fluxo não parar com um MTBF de 10 dias
2 chapas	21 horas	1	99,8%
1 chapa	16 horas	0	93,6%

Tabela 13: Probabilidade de falhas para diferentes cenários.

Para baixar o número de chapas no estoque de segurança a probabilidade do fluxo não parar deve ser de no mínimo 98%. Isto pode ser alcançado com a redução do tempo de reparo para menos de 5,5 horas, o que permitiria no máximo uma quebra, ou com o aumento do tempo médio entre falhas. Neste trabalho optou-se pela segunda opção, tentar diminuir a frequência de falhas, ou seja, aumentar o tempo médio entre falhas.

Para um MTBF igual a 30 dias, que significa em média uma falha por mês, a probabilidade da máquina não quebrar durante o tempo de ressuprimento é de 98% (Tabela 14). Por isso, para que apenas uma chapa seja mantida como estoque de segurança, é interessante que a frequência de quebras seja reduzida pelo menos para uma quebra por mês.

	ATUAL		META
	MTBF 10 dias $\lambda = 0,1$	MTBF 20 dias $\lambda = 0,05$	MTBF 30 dias $\lambda = 0,03$
$P_0$ ( $\Delta t = LTR = 10,5$ horas) Probabilidade de não ter nenhuma falha durante o tempo de ressuprimento	93,7%	96,8%	98,0%
$P_1$ ( $\Delta t = LTR = 10,5$ horas) Probabilidade de falhar 1 vez durante o tempo de ressuprimento	6,1%	3,1%	1,9%

Tabela 14: Probabilidade de falhas para diferentes frequências de falhas.

### 5.1.1.3. Diminuir quebras da máquina de corte

Antes de propor soluções para esta máquina é importante obter maiores informações sobre o seu funcionamento, como, princípio de operação e equipamentos e condições básicas para operação.

#### Princípio de Operação

Na temperatura ambiente e na presença de  $O_2$ , o ferro se oxida lentamente. À medida que a temperatura se eleva, esta oxidação se acelera, tornando-se praticamente instantânea a  $1350^\circ C$ . Nesta temperatura, chamada de temperatura de oxidação viva, o calor fornecido pela reação é suficiente para liquefazer o óxido formado e realimentar a reação. O óxido no estado líquido se escoar, expulso pelo jato de  $O_2$ , permitindo o contato do ferro devidamente aquecido com  $O_2$  puro, o que garante a continuidade do processo. O processo baseia-se no aquecimento localizado feito com um maçarico especial de corte. Ao atingir a temperatura de oxidação viva segue-se a injeção de  $O_2$  através do orifício central do bico de corte fixado no maçarico.

Portanto, para este processo, a secção do material só é efetiva se o material apresentar baixa resistência à oxidação, como é o caso das chapas de aço carbono para a fabricação dos rolos. O aço inoxidável, por exemplo, pode se deformar devido às altas temperaturas, porém, não será seccionado, já que ele apresenta alta resistência à oxidação, assim como o níquel, o alumínio, o cobre e suas ligas.

#### Condições Básicas para a Operação

As condições básicas para a ocorrência do oxicorte são as seguintes:

- A temperatura de início de oxidação viva deve ser inferior à temperatura de fusão do metal;
- A reação deve ser suficientemente exotérmica para manter a peça na temperatura de início de oxidação viva;
- Os óxidos formados devem ser líquidos na temperatura de oxicorte facilitando seu escoamento para possibilitar a continuidade do processo;
- O material a ser cortado deve ter baixa condutividade térmica;

No processo, a chama oxí-combustível tem a função de aquecimento do metal. Regula-se a chama no maçarico, inicia-se o aquecimento da região a ser cortada por uma borda ou faz-se uma perfuração na chapa. Quando o material em volta deste ponto inicial estiver na temperatura adequada, abre-se a válvula do  $O_2$  de corte e inicia-se o deslocamento do maçarico, o que inicia o processo. Para a obtenção da chama oxí-combustível, são necessários pelo menos dois gases, sendo um deles o oxidante ( $O_2$ ) e o outro o combustível (acetileno, propano, propileno, hidrogênio, GLP e até mesmo mistura destes).

### Equipamentos para a Operação

A Máquina de Corte possui três maçaricos: um guiado pelo cabeçote 01 e responsável pelo corte perpendicular e os outros dois guiados pelo cabeçote 02 e responsáveis pelo chanfro. As Figuras 29 e 30 mostram maiores detalhes sobre esta máquina.

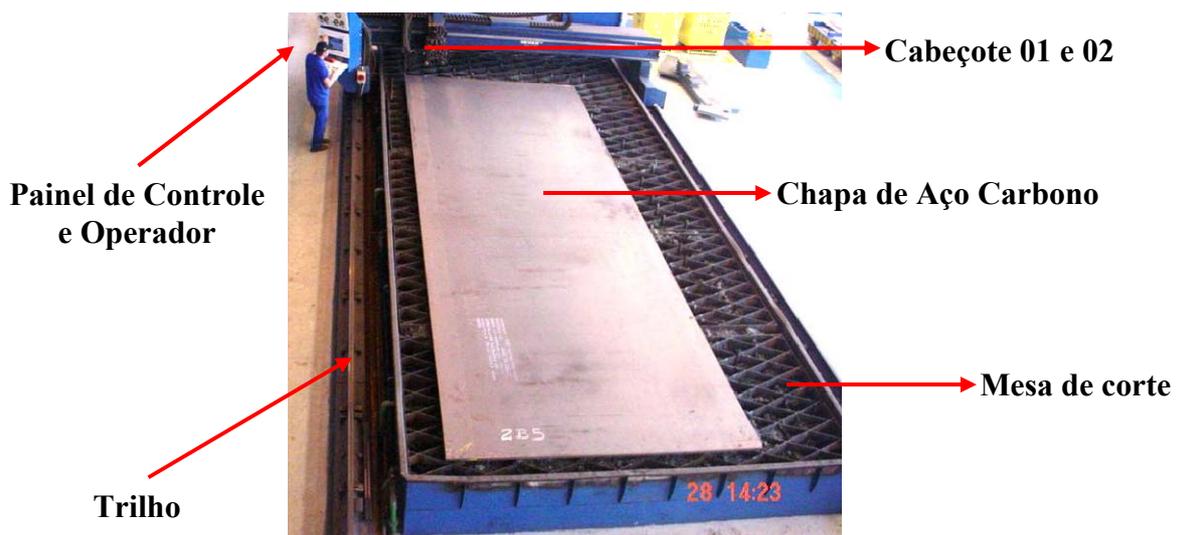


Figura 29 – Máquina de corte.

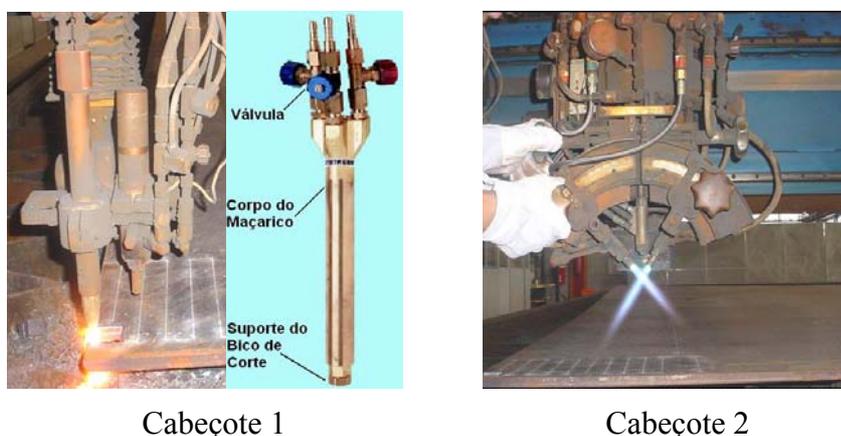


Figura 30 – Cabeçotes 1 e 2 da máquina de corte.

Foram coletadas junto ao pessoal responsável pela manutenção informações sobre a manutenção corretiva da máquina de corte desde agosto de 2005 a agosto de 2007. Na Tabela 15 estão reunidas as principais ocorrências e suas respectivas causas.

Problema	Código	Causa
Sensor danificado	P01	Impureza, válvula de O <sub>2</sub> , colisão etc
Agregado danificado	P02	Colisão
Bico de corte ou maçarico danificados	P03	Colisão
Cabeçote chanfrador danificado	P04	Diversos
Problemas com elementos de fixação	P05	Rosca, parafuso espanado etc
Problemas elétricos	P06	Diversos
Problemas mecânicos	P07	Motor
Outros problemas	P08	Diversos
Problemas no controle (painel e CPU)	P09	Superaquecimento, sem rede, etc

Tabela 15: Problemas na máquina de corte.

Por motivos de confidencialidade, na Tabela 15 não é feita a descrição em detalhe das quebras, cada código é utilizado para representar problemas em determinadas partes da máquina. Os problemas foram agrupados e consolidados de acordo com a frequência na curva da Figura 31. Como foi comentado anteriormente o objetivo da melhoria buscada é aumentar o tempo médio entre falhas. Portanto, o impacto, ou seja, o tempo de reparo não é considerado no gráfico da Figura 31.

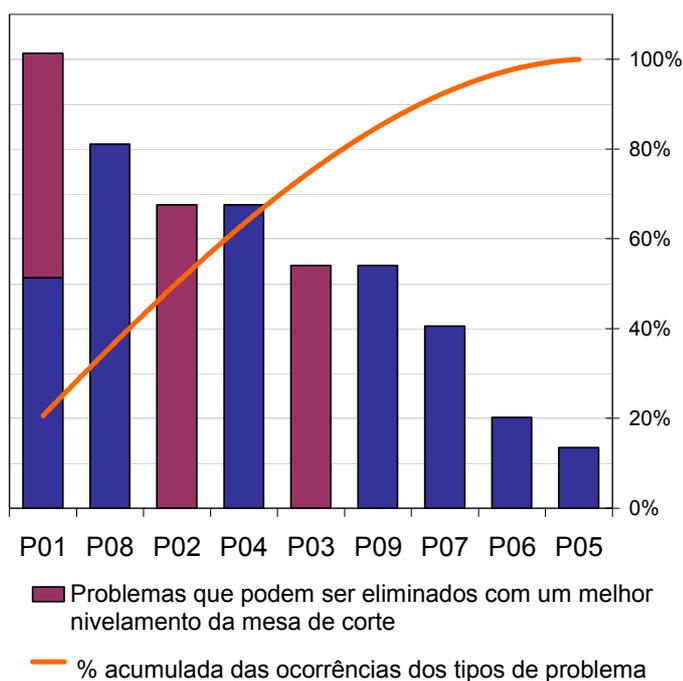


Figura 31 – Frequência dos problemas na máquina de corte.

Percebe-se pelo gráfico, que a quebra do bico de corte, do maçarico e até mesmo do cabeçote é ocasionada pela colisão destes com a chapa, a mesa ou outro obstáculo presente na região de operação. Durante a operação da máquina, uma chapa mal nivelada pode provocar, além de problemas de qualidade, a colisão dos dispositivos da máquina, ocasionando quebras.

O cabeçote 02, que corta em chanfro, possui um sensor pneumático que regula o seu deslocamento vertical, evitando que esse se colida com a chapa. Mesmo assim, devido à alta temperatura, aos gases e às condições severas de operação o sensor pode falhar (falha P01). Por isso, a atenção do operador durante a operação de chanfro é essencial. Já o cabeçote 01, apesar de não possuir sensor, é menos suscetível à quebra. Isso porque o bico de corte não precisa ficar tão próximo da chapa.

Ao longo das operações a mesa de corte acaba sofrendo deformações em sua estrutura, comprometendo o nivelamento da chapa. Ao atingir este estágio a mesa deveria ser trocada. No entanto, devido ao alto custo da troca de mesa, foram desenvolvidos dispositivos que auxiliam o apoio da chapa a fim de garantir um bom nivelamento a um custo de reposição inferior. Além disso, percebe-se no centro da mesa um abaulamento, consequência de uma maior pressão nesta região, fator que influencia também no nivelamento da chapa.

A Figura 32 mostra o dispositivo usado antigamente para auxiliar no apoio da mesa. São tubetes de aço com pontas de bronze. Depois de um tempo a ponta tinha de ser trocada. No entanto, devido ao seu alto custo, o dispositivo deixou de ser utilizado.

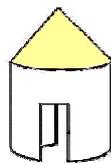


Figura 32 – Dispositivo utilizado antigamente na mesa de corte.

Foram então desenvolvidos dispositivos de aço inoxidável, como a da Figura 33, que têm um custo menor de reposição e funcionam pelo mesmo princípio do tipo de dispositivo usado anteriormente. Porém, o custo e o trabalho de troca desses dispositivos é ainda um empecilho para esta alternativa.

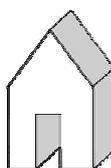


Figura 33 – Dispositivo utilizado atualmente na mesa de corte.

Propõem-se então, alternativamente, a utilização de tiras de aço inoxidável dentadas encaixadas na mesa de corte. Esta proposta garantiria um nivelamento mais uniforme, já que a chapa teria mais pontos de apoio, e teria um custo menor já que a empresa possui material excedente dos processos de corte que poderia ser usado para esta aplicação. Além disso, duas barras para sustentar a estrutura no centro deveriam ser providenciadas, como indica a Figura 34.

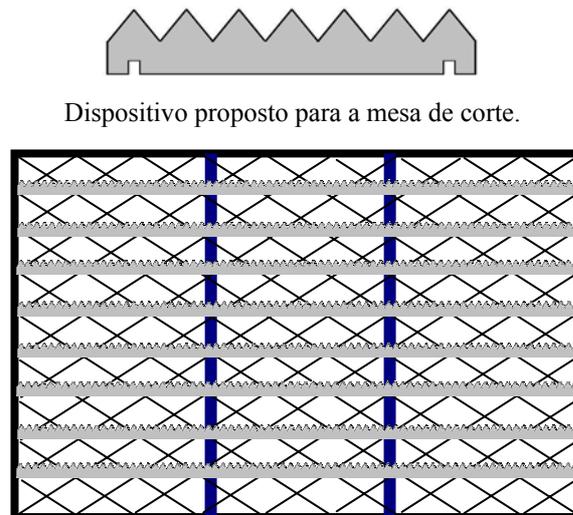


Figura 34 – Proposta de melhoria para a mesa da Máquina de Corte.

Como os problemas no bico, maçarico e cabeçote são causados, sobretudo, pela colisão destes com a chapa ao garantir que esta estará nivelada, é admissível que este tipo de quebra deverá se tornar menos freqüente. Além disso, como a atenção do operador é importante na prevenção deste tipo de quebra, propõe-se que seja feito um trabalho em conjunto com o operador e o programador da produção, para evitar que, durante a operação da máquina de corte, o operador seja compartilhado com outras máquinas, sobretudo se for uma operação de corte em chanfro.

Outro problema que poderia ser solucionado sem grandes investimentos é o superaquecimento do computador. Por operar em ambiente severo, com temperatura acima da ambiente e presença de gases e impurezas no ar, o computador acaba tendo problemas de superaquecimento e apresentando falhas. Uma medida que era provisória mas que permanece até hoje é a instalação de ventoinhas atrás do computador. Mas este continua exposto ao ambiente, recebendo da ventoinha um jato de ar já bastante contaminado com impurezas. É bem provável que, nestas condições, o computador não dure muito tempo ou que apresente falhas durante a sua operação. O ideal é que fosse adaptado um sistema de refrigeração.

#### **5.1.1.4. Resultado da proposta de melhoria M1**

A análise do dimensionamento do estoque depois da máquina de corte mostrou que o estoque mantido hoje está superdimensionado. Com um estoque de até 5 chapas, incluindo um estoque de segurança de 2 chapas e admitindo como ponto de ressuprimento o nível de 4 chapas é possível atender a prensa com um nível de serviço de 98%. Desta forma o estoque médio que atualmente é de 6 chapas (2 dias) poderia ser reduzido para 3,5 chapas (1,2 dias).

Apenas com a eliminação das falhas provocadas pela colisão com a chapa (P02 e P03), o tempo médio entre falhas subiria de 10 dias para 13 dias, conforme a Tabela 26 do Apêndice B. Com este tempo médio entre falhas, ainda há a necessidade de manter 2 chapas como estoque de segurança, para garantir um nível de serviço de 98%.

Este estudo mostra o impacto de melhorias na manutenção de uma máquina no dimensionamento do estoque.

Um sistema de refrigeração adequado e uma verificação periódica dos elementos de fixação, por meio de uma manutenção preventiva, poderia diminuir a ocorrência de alguns problemas, tornando o tempo médio entre falhas ainda maior.

### 5.1.2. M7 – Eliminar estoque entre a usinagem e o balanceamento

Entre a Célula de Usinagem e o Balanceamento observou-se um estoque médio de 1 dia. Este estoque é gerado pelo fato da etapa de balanceamento operar em apenas um turno, ou seja, os rolos que são usinados no segundo turno, ficam em espera para serem balanceados no dia seguinte.

Por apresentar um tempo de ciclo curto, de 2,5 horas, não há necessidade de o balanceamento operar em dois turnos. Caso haja disponibilidade de horas de trabalho na célula de usinagem, uma alternativa seria habilitar os operadores da célula de usinagem para operar também a balanceadeira.

A Figura 35 mostra um gráfico com a forma de aproveitamento do tempo de ciclo para os dois operadores da célula de usinagem e para o operador da balanceadeira.

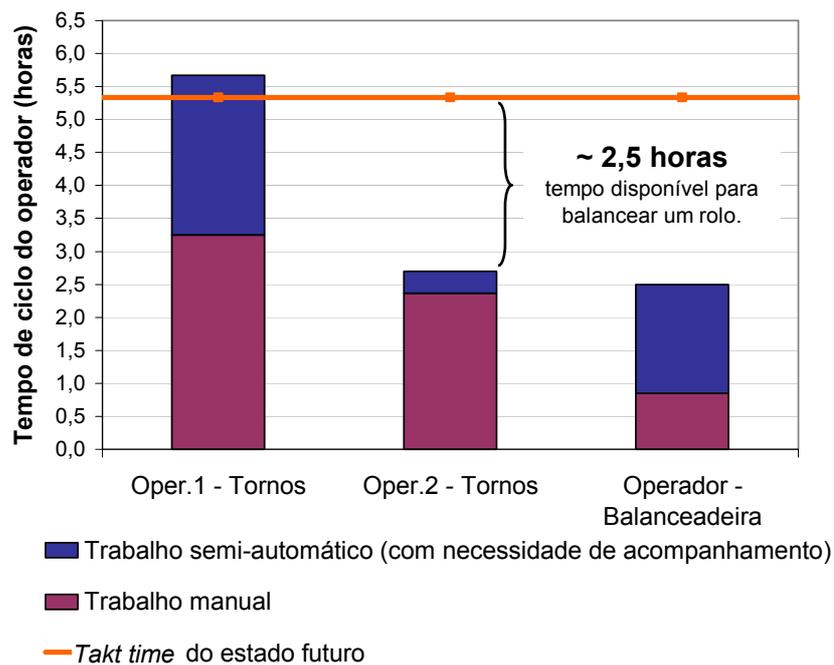


Figura 35 – Gráfico de balanceamento de operadores – usinagem e balanceadeira.

Percebe-se que o operador 2 dos tornos tem disponibilidade para balancear um rolo do segundo turno e evitar que ele espere o dia seguinte para ser balanceado. Já que durante parte do processo de usinagem que ocorre automaticamente, sem necessidade de acompanhamento, ele poderia operar a balanceadeira.

Esta medida já vem está sendo tomada pela empresa, pois além de evitar a espera normal dos rolos feitos no segundo turno, evitaria também esperas eventuais, devido à ausência do operador da balanceadeira.

#### **5.1.2.1. Resultado da proposta de melhoria M7**

Com um fluxo contínuo entre a célula de usinagem e o balanceamento, não haverá o desperdício causado pela espera do rolo. Ou seja, ao concluir o processo de acabamento no 1º turno o operador da usinagem disponibiliza o rolo para ser balanceado. Caso o rolo fique pronto no segundo turno, o próprio operador da usinagem carrega a balanceadeira e executa a operação, disponibilizando-o para a etapa seguinte de montagem.

## 5.2. ESTUDO DO AUMENTO DA CAPACIDADE

Para o estudo da capacidade de produção dos rolos, foi feita uma análise dos tempos de ciclo de cada etapa em relação ao *takt time* do estado futuro, a fim de verificar qual ou quais operações impedem o sistema de produzir mais.

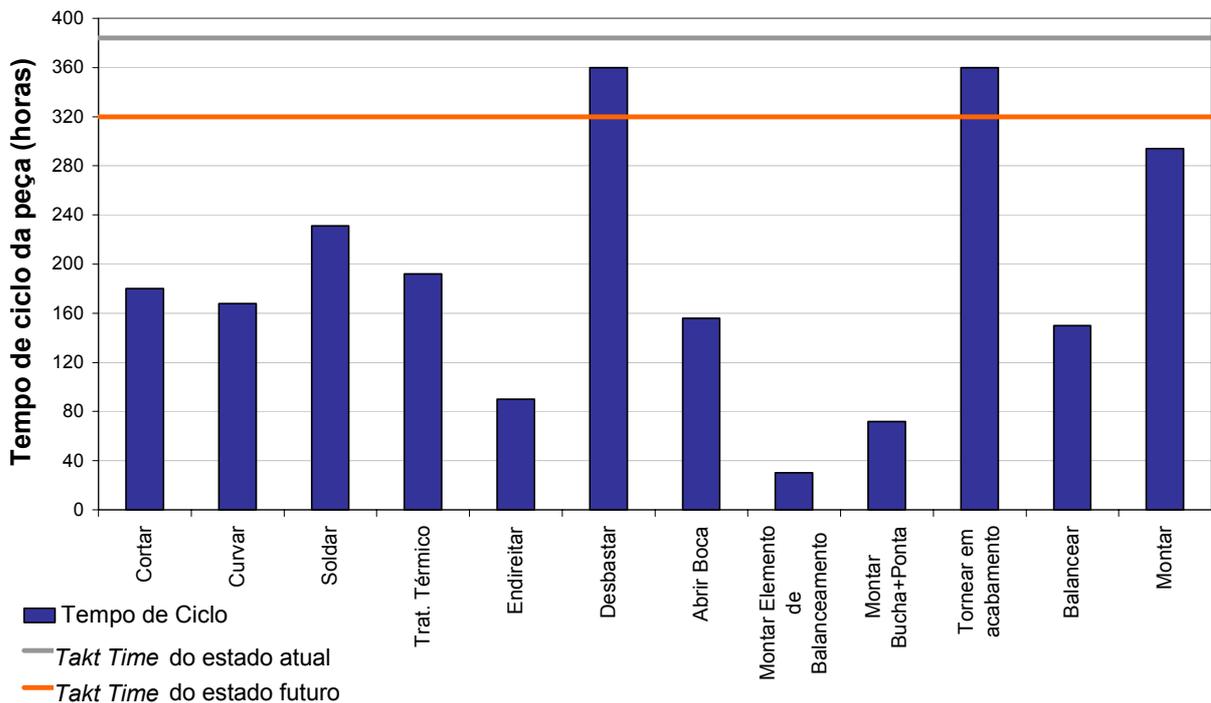


Figura 36 – Tempo de ciclo das operações e o *takt time* do produto.

Na figura 36, percebe-se que os tempos de ciclo do desbaste e do acabamento ultrapassam 320 minutos. Isto significa que estas etapas, trabalhando normalmente com 16 horas diárias, não atenderiam a demanda planejada. Para aumentar a produção dos rolos o tempo de ciclo destas operações deve ser reduzido.

### 5.2.1. M5 – Reduzir o tempo de ciclo do processo de desbaste

Para trazer o tempo de ciclo do desbaste abaixo do *takt time*, foi feito um estudo para eliminar o desperdício através do *kaizen* de processo. A fim de identificar estes desperdícios foi feito um detalhamento dos elementos de trabalho e por meio de observação direta e consulta aos operadores foram levantadas as durações de cada elemento de trabalho, como é apresentado na Tabela 16.

Seq.	Elementos de trabalho	Tempo (minutos)		
		Manual	Automatizado	Caminhada
1	Retirar rolo	5		
2	Buscar dispositivos (aranha e contra ponto)			10
3	Montar a aranha (dispositivo que prende o rolo no torno)	20		
4	Preparar a máquina (contraponto, dados de corte etc.)	5		
5	Carregar a máquina e centrar o rolo	15		
6	Desbastar (1º passe)	5	60	
7	Remover cavaco	5		
8	Descarregar a máquina e levar o rolo no trilho	5		
9	Verificar balanceamento no trilho	5		
10	Carregar a máquina e centrar o rolo	15		
11	Desbastar (2º passe)	5	60	
12	Remover cavaco	5		
13	Descarregar a máquina e levar o rolo no trilho	5		
14	Verificar balanceamento no trilho	5		
15	Carregar a máquina e centrar o rolo	15		
16	Desbastar (3º passe)	5	60	
17	Medir faixa de luneta para os dois lados do rolo	5		
18	Tornear faixa de luneta	25		
19	Descarregar a máquina	5		
20	Desmontar a aranha e disponibilizar o rolo para usar diâmetro interno (abrir boca)	5		
21	Limpar a máquina	10		
		<b>170</b>	<b>180</b>	<b>10</b>
<b>Tempo Total da Operação</b>		<b>360</b>		

Tabela 16: Elementos de trabalho da operação de desbaste.

Conforme mostra a Tabela 16, dos 360 minutos de processo 40% corresponde a *setup* e ajustes. Isto ocorre principalmente devido aos ajustes que devem ser feitos para adaptar cada rolo à máquina e aos dispositivos. Vale lembrar que, o rolo é um produto feito sob encomenda, com diâmetro, comprimento e espessura definidos de acordo com os parâmetros da máquina de papel do cliente. Para o estudo da redução do *setup* será utilizada a técnica SMED.

### 5.2.1.1. *Setup* da operação de desbaste

Hoje, as etapas do *setup* identificadas são feitas internamente, ou seja, com a máquina parada. A Tabela 17 mostra um estudo referente à primeira etapa da técnica SMED, que é a distinção entre o *setup* interno e o *setup* que pode ser feito externamente.

Seq.	Atividades que compõem o <i>setup</i> da operação de desbaste	Duração (min)	Atual modo de execução	Atividade poderia ser executada externamente?
1	Retirar rolo	5	interno	Não. Por questões de segurança e disponibilidade de espaço e pelo peso do rolo ele só é retirado quando a máquina estiver aguardando.
2	Buscar dispositivos (aranha e contra ponto)	10	interno	Sim, se os dispositivos fossem dispostos próximos à célula de usinagem.
3	Montar a aranha (dispositivo que prende o rolo no torno)	20	interno	Sim, havendo um maior número de aranhas, não haveria necessidade de esperar desmontar o dispositivo do rolo que acabou de sair da máquina para montar no rolo que entrará na máquina.
4	Preparar a máquina (contraponto, dados de corte etc)	5	interno	Não. Ajuste direto na máquina, portanto, ela precisa estar parada.
5	Carregar a máquina e centralizar o rolo	15	interno	Não. Ajuste direto na máquina.
7	Remover cavaco	5	interno	Sim. As atividades de 7 a 10 e de 12 a 15 correspondem ao balanceamento estático. Conforme dito anteriormente, o balanceamento estático faz parte do processo de ajuste do rolo no torno e é feito antes do segundo e do terceiro passe do desbaste. O desbaste é feito em 3 passes para orientar a retirada de material e garantir que no final da operação o rolo atenderá as dimensões de projeto.
8	Descarregar a máquina e levar o rolo no trilho	5	interno	
9	Verificar balanceamento no trilho	5	interno	
10	Carregar a máquina e centrar o rolo	15	interno	
12	Remover cavaco	5	interno	
13	Descarregar a máquina e levar o rolo no trilho	5	interno	
14	Verificar balanceamento no trilho	5	interno	
15	Carregar a máquina e centrar o rolo	15	interno	
17	Medir faixa de luneta para os dois lados do rolo	5	interno	Não. O carro do torno será deslocado. Portanto, a máquina deve estar parada.
19	Descarregar a máquina	5	interno	Não.
20	Desmontar a aranha	5	interno	Sim, caso haja mais de um dispositivo para cada tamanho, não haveria necessidade do próximo rolo a entrar em processo aguardar a desmontagem do dispositivo do rolo que acabou de sair da máquina. Montar e desmontar o dispositivo podem ser atividades realizadas enquanto a máquina está operando.
21	Limpar a máquina	10	interno	Não, por questões de segurança a máquina precisa estar parada.
		145		

Tabela 17: Atividades que compõem o *setup* da operação de desbaste.

Das dezessete atividades do *setup*, onze podem ser inteira ou parcialmente realizadas externamente e estão relacionadas com a utilização do dispositivo de fixação do rolo no torno e com o balanceamento estático. A seguir é apresentado o desenvolvido da segunda etapa da técnica SMED, para investigar a possibilidade de converter estas duas operações de *setup* interno em *setup* externo.

## ARANHA – DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO

Foi identificada uma oportunidade para converter a atividade de fixação do rolo no torno, por meio de um dispositivo chamado de aranha, de *setup* interno em *setup* externo. A execução das atividades relacionadas à fixação deste dispositivo requer atualmente 30 minutos com a máquina parada.

As aranhas servem para fixar o rolo do torno, por meio de quatro parafusos, como mostra a Figura 37. De um lado o rolo é fixado na castanha, diretamente no torno, do outro lado é montado a aranha que é encaixa no contra-ponto.

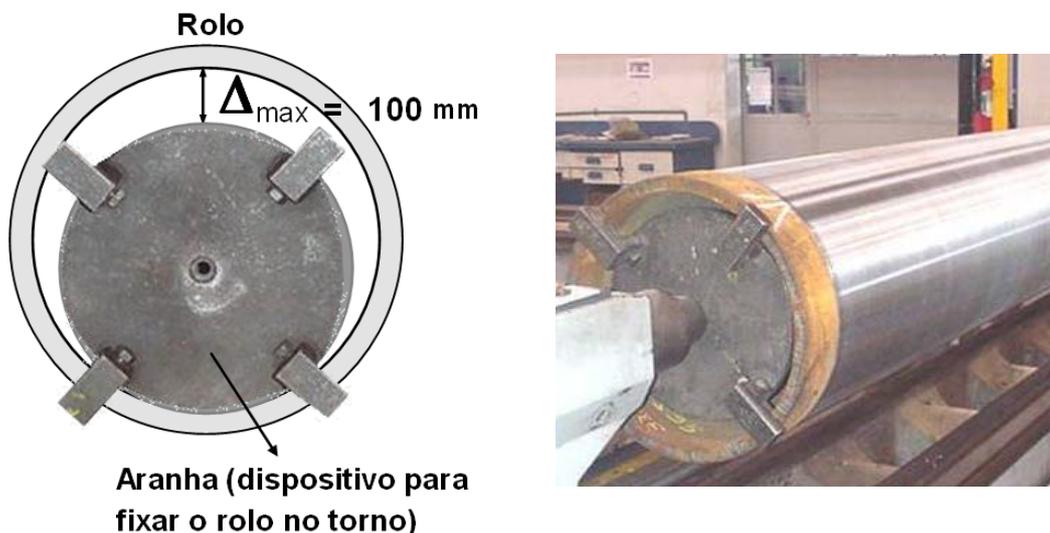


Figura 37 – Aranha, dispositivo utilizado no processo de desbaste.

O  $\Delta$  da Figura 37 é a diferença entre o diâmetro interno do rolo e o diâmetro externo da aranha. Ele pode ser no máximo de 100 mm, porém, quanto menor ele for, mais fácil será o seu ajuste no rolo e menor será o tempo necessário para montá-lo.

Ao término de uma operação o rolo é descarregado, a aranha é desmontada e montada no próximo rolo a entrar na máquina, enquanto isso a máquina aguarda ociosa. Além disso, as aranhas ficam guardadas em um galpão distante a 5 minutos da célula de usinagem. Quando o diâmetro da aranha não é adequado o operador tem que se deslocar até este galpão com uma trena e localizar o dispositivo com tamanho mais compatível.

O diâmetro dos rolos guias pode variar de 260 a 500 mm. Por isso, para atender a esta variação a empresa possui quatro tamanhos diferentes de aranha. A Tabela 18 mostra o diâmetro dos dispositivos utilizados atualmente.

Diâmetro da aranha (mm)
260
310
410
490

Tabela 18: Aranhas disponíveis atualmente.

A Figura 38 mostra o  $\Delta$  máximo de cada aranha para atender a variação dos diâmetros do rolo, que é 260 a 500 mm.

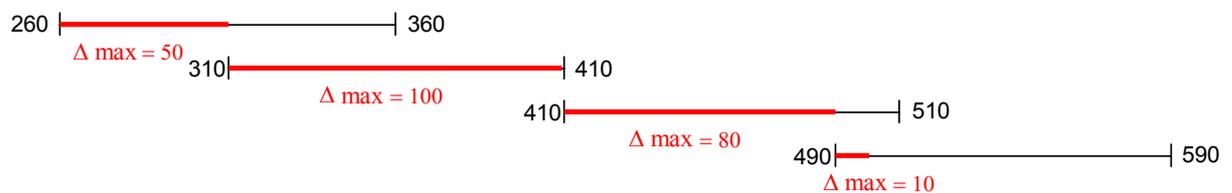


Figura 38 – Faixa de diâmetro atendida por cada aranha.

Pela Figura 38 percebe-se que o maior  $\Delta$  máximo corresponde à aranha de 310 mm seguida da aranha de 410 mm. Como um  $\Delta$  grande dificulta a montagem do dispositivo, o ideal é que ele seja o menor possível. Isto poderia ser obtido com a aquisição de outros tamanhos de aranha.

Para orientar a escolha dos tamanhos das aranhas a Figura 39 apresenta um levantamento dos rolos fabricados nos últimos dois anos indicando alguns diâmetros que ocorrem com maior frequência.

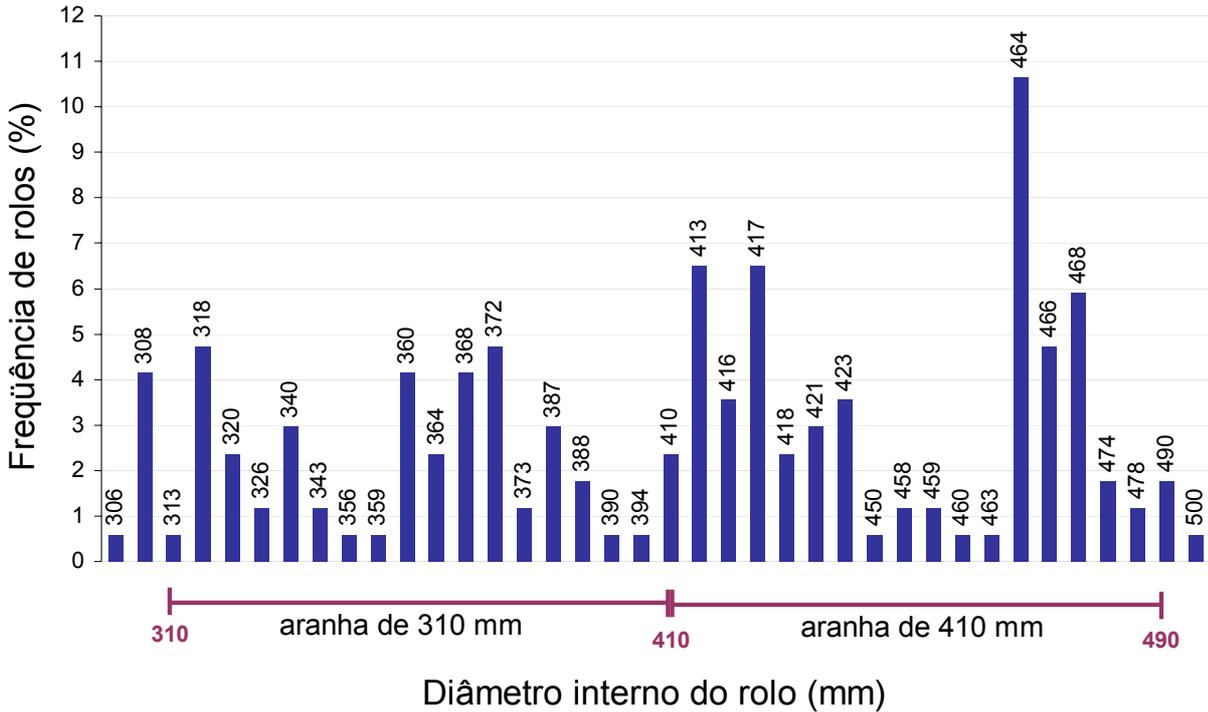


Figura 39 – Diâmetros mais freqüentes nos últimos dois anos.

De acordo com a Figura 39, justamente as aranhas que apresentam o maior  $\Delta$  foram as mais utilizadas nos últimos dois anos, o que confirma a necessidade de outros tamanhos de aranha para atender os diâmetros mais freqüentes do rolo com um tempo de montagem menor do que o atual. Propõe-se que sejam adquiridas duas aranhas, uma com diâmetro de 360 mm e a outra com diâmetro de 460 mm. Com isso, o  $\Delta$  máximo não ultrapassaria 50 mm, como mostra a Figura 40.

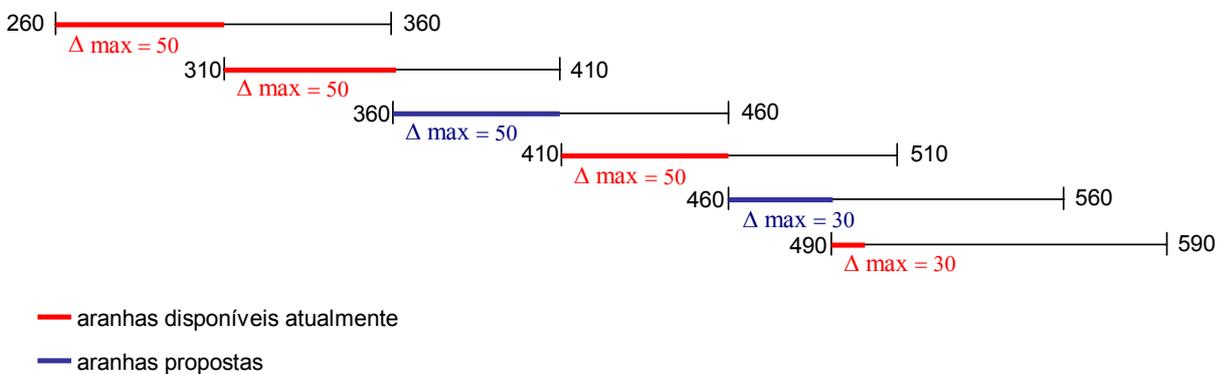


Figura 40 – Faixa de diâmetro atendida por cada aranha, considerando a aquisição de mais duas aranhas.

Para estimar o ganho obtido com a redução do  $\Delta$ , é preciso estabelecer uma relação entre a variável  $\Delta$  e o tempo de montagem. Para isso, foram tomados os tempos para ajuste do dispositivo no rolo por meio de observações diretas no setor de montagem, os quais são apresentados na Tabela 19.

$\Delta$	Tempo (minutos)
8	5
19	6
26	7
62	10
74	15
84	15
92	18

Tabela 19: Tempo observado para montar um dispositivo com determinado  $\Delta$ .

$$T = 4,5231 \times e^{0,0148 \times \Delta} \quad (6)$$

A equação indica a função exponencial obtida em função do  $\Delta$ . Para relacionar o tempo de ajuste com o  $\Delta$  uma curva exponencial foi ajustada no Apêndice C.

A Tabela 20 mostra o ganho esperado com a utilização da nova aranha de diâmetro 360 mm.

Diâmetros que serão atendidos pela nova aranha de 360 mm	$\Delta$ utilizando a aranha de 310 mm	Tempo para montar (min) *	$\Delta$ utilizando a aranha proposta de 360mm	Tempo de montagem estimado (min) *
$\varnothing$	$\varnothing - 310$		$\varnothing - 360$	
360	50	9,5	0	4,5
364	54	10,1	4	4,8
368	58	10,7	8	5,1
372	62	11,3	12	5,4
373	63	11,5	13	5,5
387	77	14,1	27	6,7
388	78	14,3	28	6,8
390	80	14,8	30	7,1
394	84	15,7	34	7,5
		112,0		53,4

\* utilizando a equação (6)

Tabela 20: Ganho que seria obtido com a aquisição da aranha de 360 mm.

Com a situação atual, a montagem do dispositivo nestes nove diâmetros de rolos apresentados na Tabela 20 duraria 112 minutos. Já com a situação proposta, utilizando a aranha de 360 mm, este tempo cairia para 53 minutos, o que resulta em uma redução estimada de 52% no tempo de montagem do dispositivo.

Para a aranha de 310 mm a análise é semelhante. A Tabela 21 mostra o ganho esperado com a sua utilização.

Diâmetros que serão atendidos pela nova aranha de 460 mm	$\Delta$ utilizando a aranha de 410 mm	Tempo para montar (min) *	$\Delta$ utilizando a aranha proposta de 460mm	Tempo de montagem estimado (min) *
$\emptyset$	$\emptyset - 410$		$\emptyset - 460$	
460	50	9,5	0	4,5
463	53	9,9	3	4,7
464	54	10,1	4	4,8
466	56	10,4	6	4,9
468	58	10,7	8	5,1
474	64	11,7	14	5,6
478	68	12,4	18	5,9
		74,7		35,5

\* utilizando a equação (6)

Tabela 21: Ganho que seria obtido com a aquisição da aranha de 460 mm.

Com a situação atual, a montagem do dispositivo nestes sete diâmetros de rolos apresentados na Tabela 21 duraria 75 minutos. Já com a situação proposta, utilizando a aranha de 360 mm, este tempo cairia para 36 minutos, o que resulta em uma redução estimada de 52% no tempo de montagem do dispositivo.

Além disso, seria interessante também se houvesse duas aranhas com o mesmo diâmetro. Pois, desta forma, o próximo rolo a entrar na máquina não precisa aguardar o rolo que acabou de ser processado ser retirado da máquina e desmontado. Com isso, teria-se um ganho de cerca de 10 minutos na montagem e cerca de 5 minutos na desmontagem, que poderiam ser feitos com a máquina operando.

Propõem-se também organizar as aranhas em uma bancada junto a outros dispositivos também necessários durante o processo de *setup*. Como o layout dos tornos é em U, o ideal seria se a bancada ficasse entre os tornos, mas como existe uma caixa de energia nesta posição a bancada deveria ser organizada próxima aos tornos U900 e 13, como mostra a Figura 41.

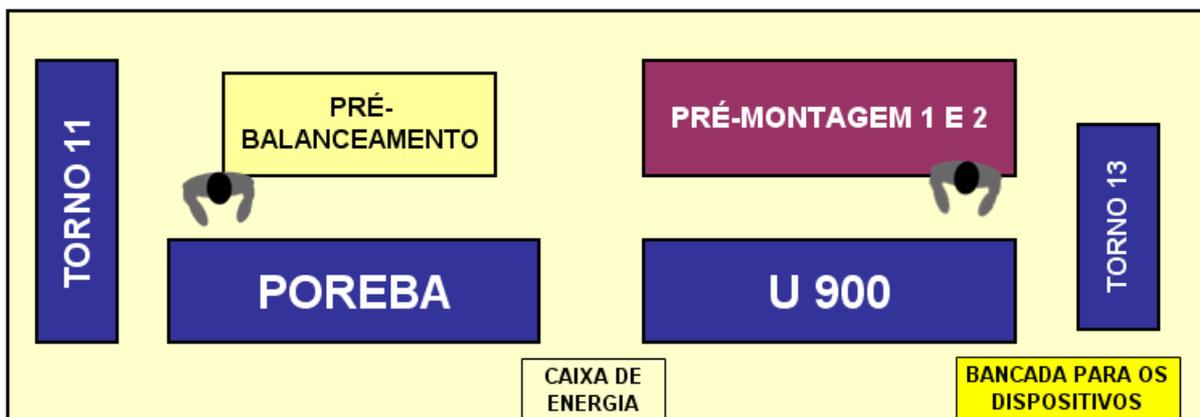


Figura 41 – *Layout* da célula de usinagem e localização da bancada para armazenar os dispositivos.

Para facilitar a identificação da aranha mais compatível seria interessante que as aranhas fossem identificadas por número e uma tabela como a da Figura 42 fosse afixada na bancada. Esta medida agilizaria a identificação do dispositivo. Por exemplo, para um rolo com diâmetro interno de 425 mm a aranha ideal seria a de número 4, como mostra a Figura 42.

Diâmetro interno do rolo (mm)	Código da aranha
260 – 309	1
310 – 359	2
360 – 409	3
410 – 459	4
460 – 489	5
490 – 549	6
550 – 600	7

Figura 42 – Tabela de identificação das aranhas.

A Figura 54 do Apêndice C mostra como as aranhas seriam identificadas.

## RESULTADO DA PROPOSTA DE MELHORIA PARA OS DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO (ARANHAS)

Hoje, o operador se desloca até o galpão com uma trena e mede os dispositivos para identificar o mais adequado. O tempo gasto nesta atividade é de no mínimo 10 minutos. Com os dispositivos mais próximos da célula de usinagem, organizados e identificados com o código dos diâmetros que ele atende, a busca do dispositivo seria facilitada e não passaria de 1 minuto.

Além disso, a disponibilidade de mais duas aranhas, com diâmetro de 360 mm e 460 mm, atenderia a faixa de diâmetros mais frequentes com um ganho no tempo de fixação do dispositivo. Considerando os diâmetros dos rolos vendidos nos últimos 2 anos, teria-se economizado no mínimo 50% do tempo gasto com a fixação da aranha no rolo. E como o  $\Delta$  máximo para atender os rolos não ultrapassaria 50 mm, estima-se que esta atividade não demoraria mais que 10 minutos, como mostra a Tabela 22.

Diâmetro da Aranha (mm)	$\Delta$ max	Tempo máximo estimado para ajustar o dispositivo *
260	50	9,5
310	50	9,5
<b>360</b>	<b>50</b>	<b>9,5</b>
410	50	9,5
<b>460</b>	<b>30</b>	<b>7</b>
490	10	7

\* utilizando a equação (6)

Tabela 22:  $\Delta$  máximo para atender os rolos considerando as duas aranhas.

Por fim, a disponibilidade de duas aranhas iguais de cada diâmetro permitiria a realização da atividade como *setup* externo, pois a montagem e desmontagem do dispositivo passariam a ser feitas com a máquina operando.

## BALANCEAMENTO ESTÁTICO – OPERAÇÃO DE DESBASTE

O processo de desbaste consiste em retirar o excesso de material respeitando as dimensões de projeto. A dificuldade desta etapa está na não homogeneidade na distribuição da massa. Isso gera a necessidade de realizar o desbaste em três passes, com ajustes antes de cada passe e o balanceamento estático antes do segundo e do terceiro passe. Os três passes não visam uma melhor transformação da superfície, ou seja, não agregam valor ao produto, mas sim auxiliam na eliminação do excesso de massa, sem comprometer as dimensões de projeto do rolo.

É importante relembrar que para curvar a chapa e formar o rolo o material sofreu diversas conformações, além da solda e da alta temperatura do tratamento térmico. Com isso, a distribuição de massa no rolo se torna não homogênea. O resultado é o excesso de material em algumas regiões e a escassez em outras. A Figura 43 mostra de uma maneira simplificada e ampliada parte do fenômeno que ocorre no rolo durante o seu processo de fabricação.

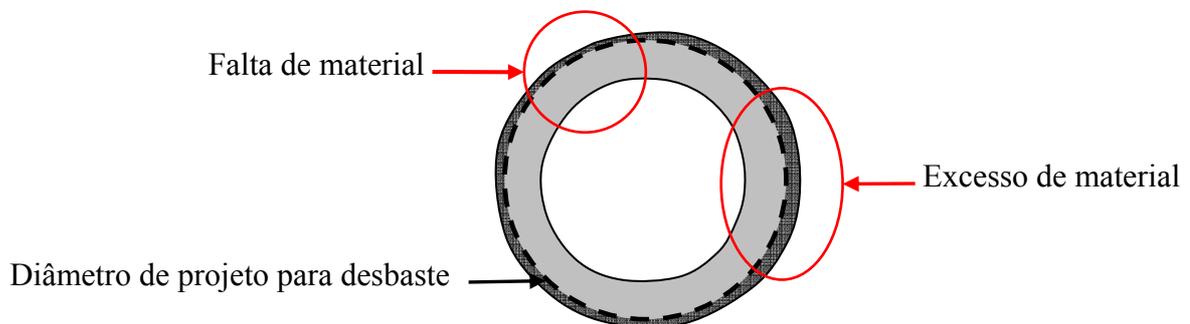


Figura 43 – Material de desbaste no rolo.

Este excesso de massa é detectado por meio do balanceamento estático. Depois do primeiro passe o rolo é retirado do torno e levado ao trilho, como ilustra a Figura 44. Os trilhos são barras paralelas com superfície de apoio estreita e lisa o suficiente para não haver interferência da força de atrito.



Figura 44 – Balanceamento estático.

A partir da observação do deslocamento do rolo no trilho e da habilidade do operador é determinado o deslocamento dos pontos de controle (oito pontos de apoio, quatro de cada lado) a fim de obter a centralização do rolo no torno. Ao final do segundo passe este procedimento é novamente executado. No final do processo tem-se um diâmetro externo próximo da linha pontilhada da Figura 43.

Se esta linha pontilhada pudesse ser determinada antes de iniciar o processo de desbaste o operador já poderia realizar os ajustes dos pontos de controle, centralizando o rolo em uma posição que garanta o desbaste em um passe sem comprometer as dimensões de projeto. Ou seja, neste processo percebe-se uma oportunidade de transformar parte do *setup* interno em *setup* externo e até mesmo, se possível, simplificar o processo para apenas um passe.

O intuito é desenvolver um sistema que forneça os pontos de controle para a centralização do rolo. Esse sistema com pontos de controle previamente informados garantiria uma maior confiabilidade, padronização e informatização da rotina. Além de consumir 50% do tempo de ciclo do desbaste, o método atual é totalmente manual e depende muito da habilidade e experiência de cada profissional.

Com o auxílio de um especialista na aplicação de sistemas informatizados, foi possível reproduzir a superfície do rolo em um sistema CAE (geração de um corpo sólido real) a partir de algumas medidas do diâmetro externo do rolo. Estas medidas seriam tomadas pelo operador com o auxílio de um relógio comparador e seriam repassadas para o protocolo padrão, apresentado no Apêndice D. Do protocolo as informações seriam digitadas em uma planilha eletrônica e alimentariam a rotina no sistema CAE que calcula os pontos de controle. Em seguida, um relatório com os pontos de controle do rolo seria enviado para a usinagem

por meio eletrônico e a partir destas informações o operador da célula de usinagem centralizaria o rolo no torno e executaria o processo de desbaste com apenas um passe.

Embora não tenha sido possível a realização do experimento, foi definido um procedimento para determinar os pontos de controle.

## PROCEDIMENTO

- Medição do rolo: dividir o diâmetro do rolo em 8 partes e o comprimento em trechos de 500 em 500 mm e nestes pontos realizar medidas utilizando o relógio comparador, como ilustra a Figura 45.

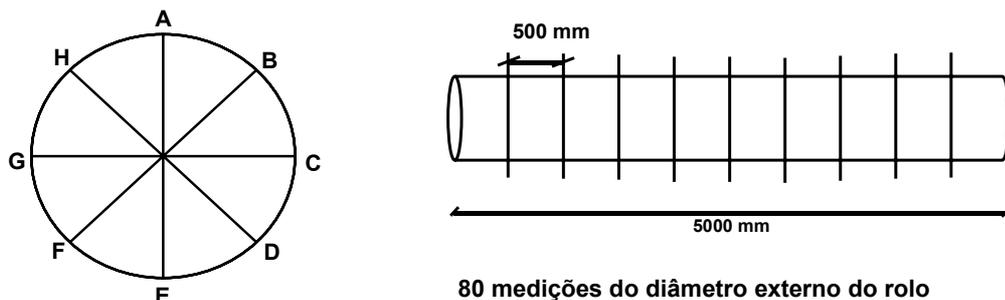


Figura 45 – Procedimento para medir o rolo.

- Preenchimento do protocolo padrão.
- Análise no sistema CAE - Criação da superfície e geração do sólido: a partir das medidas do protocolo gerar uma malha de pontos que dará origem a uma superfície. Ao fechar a superfície é formado um sólido. O software calcula o centro de massa (centróide) desse sólido e cria um novo sistema de coordenadas cuja origem é esse ponto.
- Relatório para a Usinagem: emitir automaticamente para a Usinagem um relatório contendo as informações dos pontos de controle que serão usados para centralizar o rolo ao torno antes da usinagem, no formato apresentado na Figura 46.

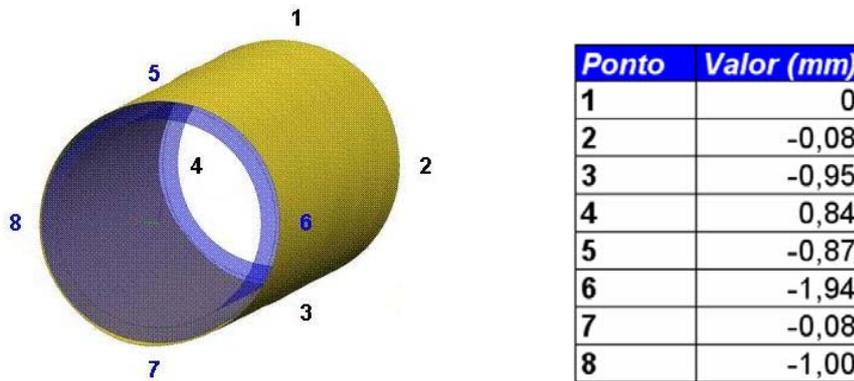


Figura 46 – Oito pontos de controle que fornecem o ajuste do rolo.

É importante observar que as medições que alimentam o programa gerado assim como a determinação dos pontos de controle não poderiam ser feitas pelo processo fornecedor (prensa) e nem pelo processo cliente (usinagem), já que ambos são processos gargalos. Portanto, para que a solução proposta seja viável, será necessária a contratação de um operador que realize esta atividade.

Outra consideração que deve ser comentada é que os valores dos pontos informados pelo sistema software CAE consideram que a densidade do material é constante em todo seu volume, o que na prática não pôde ser confirmado.

## RESULTADO DA PROPOSTA DE MELHORIA PARA ELIMINAR O BALANCEAMENTO ESTÁTICO

Embora não tenha sido possível realizar um experimento, os resultados esperados justificam os esforços para a implementação e aprimoramento do sistema. São eles:

- Padronização do sistema de medição e centralização (empirismo/feeling x tecnologia);
- Informatização e rastreamento eletrônico dos protocolos dimensionais;
- Eliminação da operação de pré-balanceamento (balanceamento estático) e conseqüente redução de 50% do tempo de ciclo do desbaste;

A Tabela 23 mostra a composição dos elementos de trabalho depois das duas melhorias propostas para reduzir o tempo de *setup* da operação de desbaste.

Seq.	Elementos de trabalho	Tempo (minutos)		
		Manual	Automatizado	Caminhada
1	Preparar a máquina (contraponto, dados de corte etc)	10		
2	Retirar rolo (com a aranha já montada)	5		
3	Carregar a máquina e centrar o rolo	20		
4	Desbaste (apenas um passe)	5	80	
5	Remover cavaco	5		
6	Medir faixa de luneta para os dois lados do rolo	5		
7	Tornear faixa de luneta	25		
8	Descarregar a máquina	5		
9	Limpar a máquina	10		
		<b>90</b>	<b>80</b>	<b>0</b>
		<b>170</b>		

Tabela 23: Elementos de trabalho do processo de desbaste depois da melhoria.

O ganho que seria obtido com a eliminação do balanceamento estático e a implementação das melhorias relacionadas ao dispositivo de fixação seria uma redução de 50% no tempo de ciclo, que passaria a ser de 170 minutos, ou seja, menor que o *takt time* que é de 320 minutos. Considerando as melhorias na operação de desbaste, a célula de usinagem conseguiria produzir três rolos por dia. Mesmo que apenas um passe da operação de desbaste seja eliminado, o tempo de ciclo ainda seria inferior ao *takt time* (245 minutos), ou seja, também viabilizaria a produção de três rolos por dia.

Apesar das melhorias no processo de desbaste terem viabilizado esta operação a fabricar pelo menos três rolos por dia, a célula de usinagem continuaria a entregar 2,5 rolos por dia, pois a operação de acabamento tem um tempo de ciclo de seis horas. Como não foram identificadas oportunidades de melhoria para esta operação, a proposta é que a etapa de acabamento não seja interrompida durante o dia, ou seja, que ela continue a operar durante as pausas. Como são dois operadores que trabalham na célula de usinagem e ambos habilitados a operarem os quatro tornos, há a possibilidade de revezamento durante as pausas. Desta forma, o tempo de trabalho disponível para esta operação subiria e passaria a 18 horas por dia. Embora esta medida seja praticada pela empresa em alguns momentos de pico de demanda, é importante ressaltar que ela deve ser provisória, até que alternativas para reduzir o tempo de ciclo do acabamento sejam identificadas e implementadas.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho atingiu o objetivo proposto de elaborar um plano de ações que viabilize o aumento da produção de rolos guias, para passar de 2,5 para 3 rolos por dia, e de oferecer prazos mais curtos para o cliente, já que se espera que o *lead time* baixe de 19 para 17 dias. Embora o estado futuro não tenha sido ainda plenamente atingido ele deve continuar sendo uma meta na busca de um fluxo mais enxuto.

Como resultado foi desenhado e apresentado no Apêndice E o mapa do fluxo de valor dos rolos considerando as melhorias propostas. E a Tabela 24 resume os principais indicadores do estudo do fluxo de valor dos rolos comparando a situação atual com a proposta.

	ATUAL	PROPOSTO	Impacto
<i>Takt time</i>	380 minutos	320 minutos	Redução de 16%
Produção	50 rolos / mês	60 rolos / mês	Aumento de 20%
<i>Lead time</i>	18,9 dias	16,9 dias	Redução de 11%
Redução no volume de estoque (Tempo de duração do estoque)	39 peças <sup>1</sup> (~ 15 dias)	34,5 peças (~ 13 dias)	Redução de 12%
Operadores	17	18	Aumento de 1 operador

Tabela 24: Indicadores de resultado comparando a situação atual com a proposta.

Dentre as ferramentas utilizadas, a aplicação do Mapa do Fluxo de Valor contribuiu de forma decisiva para o diagnóstico e a eliminação de desperdícios, principalmente por simplificar o processo de representação e análise dos sistemas produtivos.

<sup>1</sup> O volume de estoque é calculada pela soma dos itens em processo. Por exemplo, no MFV do estado atual tem-se: 6 chapas + 23 tubos (tubo é apenas a camisa do rolo (Figura 13) + 5 rolos, que totalizam 40 peças.

O estudo do estoque depois da máquina de corte identificou um superdimensionamento do número de chapas entre esta máquina e a prensa. De acordo com o tempo de ciclo e a sua variação chegou-se a um estoque médio necessário de 3,5 chapas e não 6 chapas como vem sendo utilizado. O estoque atual estaria encobrindo as deficiências desta máquina. Ao reduzi-lo e propor alternativas para diminuir o número de falhas da máquina, espera-se que a atenção sobre esta máquina seja maior, e que um plano de manutenção preventiva seja implementado para que no futuro seja possível a criação de um fluxo contínuo já que os tempos de ciclo das operações são parecidos.

A proposta de habilitar um operador da célula de usinagem, com disponibilidade de tempo, a realizar o balanceamento do rolo viabiliza a criação de um fluxo contínuo entre estas operações. Os rolos concluídos no segundo turno não precisariam mais esperar o dia seguinte para serem balanceados.

Com a situação proposta, a redução no *lead time* é de 13 %. Ou seja, os produtos fluem mais rapidamente entre todos os processos de fabricação do rolo e com isto a empresa pode oferecer uma redução no prazo de entrega aos seus clientes.

A solução para redução do tempo de *setup* da operação de desbaste é extremamente positiva, pois não exige alto investimento e propõe uma redução de até 50% do tempo da operação, caso ela possa ser realizada com apenas um passe. A aplicação dos conceitos dos 5 S's viabilizou um armazenamento adequado, com fácil acesso e identificação das aranhas (dispositivo de fixação), agilizando as etapas de *setup* relacionadas a esses dispositivos.

Vale lembrar que o ganho esperado com as melhorias propostas não se limita à produção de rolos de um segmento, já que os rolos de dois e três segmentos também utilizam a máquina de corte, a balanceadeira e os tornos na célula de usinagem. Portanto, espera-se também um ganho no fluxo de valor destas outras duas famílias de rolos.

---

Para finalizar, o próximo passo será a apresentação deste trabalho para os gestores da empresa, que devem decidir se as melhorias serão consideradas, implementadas e/ou aprimoradas.

Caso o estudo tenha continuidade na empresa, um plano de implementação deverá ser elaborado. Ele deverá ser composto por um cronograma das medidas necessárias, contendo as ações, as equipes, os responsáveis, a seqüência das atividades e o tempo de realização de cada uma delas. De posse deste documento, a empresa pode planejar a alocação de recursos humanos e financeiros que seria disponibilizada em cada etapa do projeto e analisar o retorno esperado.

Para um trabalho futuro, é sugerida também a padronização das operações, a fim de evitar que os ganhos na redução do tempo de *setup* sejam diluídos no processo. O fato de a empresa produzir sob encomenda implica em tempos de ciclos diferentes para cada produto. No entanto, a seqüência dos processos e das atividades é idêntica para todos os rolos, independente do tamanho e da família. A padronização do trabalho melhoraria o controle do processo e complementaria as soluções propostas.

## 7 CONCLUSÃO

A complexidade do sistema de produção estudado exigiu a reflexão sobre a aplicação de diferentes ferramentas de Engenharia de Produção em diferentes subsistemas. As melhorias somadas constituem um significativo potencial de ganhos. Com a solução proposta o *lead time* de fabricação dos rolos cairia 13% e a capacidade de produção aumentaria em 20 %, o que equivale à entrega de 10 rolos a mais por mês.

O Mapeamento do Fluxo de Valor possibilitou um melhor entendimento do sistema de produção do rolo, desde a negociação com o cliente no departamento de vendas (setor onde o estágio foi desenvolvido) até a montagem final e expedição. Este exercício foi imprescindível para entender as etapas envolvidas neste processo de produção. Além disso, este estudo preliminar ajudou a definir o tema e a focalizar os esforços para alcançar os objetivos deste trabalho.

As limitações encontradas no sistema, devido ao porte do produto, a sua variedade e ao compartilhamento de alguns recursos, trazem uma instabilidade à produção. Um operador indisponível, uma ponte rolante ocupada ou uma máquina que quebra geram interferências em todo o processo de fabricação do produto e inclusive em outros projetos. Por isso, ao se pensar em reduzir o *lead time* de um produto, deve-se pensar também em melhorar a confiabilidade do sistema como um todo, sobretudo a disponibilidade dos recursos humanos e de máquina. Para que os subsistemas possam ser integrados com um fluxo enxuto e se possível contínuo, além das operações terem tempos de ciclo parecidos, a programação dos recursos quanto a sua disponibilidade deve ser estabelecida e acompanhada.

Com relação ao desenvolvimento deste trabalho, vale observar que a grande dificuldade ao estudar este tipo de produção está nas características dos produtos fabricados, que são elementos pesados e de grandes dimensões. Algumas oportunidades de melhorias não puderam ser levadas adiante por colocar a questão da segurança em risco. Agilizar o processo não deve implicar em reduzir a segurança. Por isso, a identificação das oportunidades de melhoria levou em consideração o impacto na segurança.

Além disso, o eventual impacto na qualidade dos produtos também deve ser considerado, principalmente na sugestão para converter o ajuste do rolo no torno em *setup* externo. A idéia é válida e será aprimorada para viabilizar sua aplicação futura na empresa. No entanto, a proposta deve ser considerada com atenção e os experimentos devem ser

---

acompanhados por índices de qualidade, a fim de garantir que com a sua implementação o tempo da operação seja reduzido em 50% mantendo-se a qualidade, o que seria um excelente resultado para a empresa.

Como o trabalho focou na produção dos rolos, foram disponibilizadas apenas informações relacionadas aos rolos. No entanto, a influência dos outros produtos na fabricação do rolo também deve ser comentada. Alguns recursos, como a prensa, por serem compartilhados com a fabricação de outros produtos acabam impactando diretamente no planejamento da produção dos rolos, inclusive no dimensionamento dos estoques.

Embora a literatura sobre processos de produção enxuta seja vasta e de grande contribuição para este tipo de estudo, é importante comentar a dificuldade constatada para encontrar exemplos de aplicações de um sistema enxuto para uma produção em ambiente ETO/MTO. Rother e Shook (2003), por exemplo, utilizam a empresa Estamparia ABC, que produz em ambiente make-to-stock, para exemplificar a aplicação das técnicas da introdução de um fluxo de valor enxuto.

A aplicação dos conceitos da produção enxuta em uma empresa sob encomenda, com um produto altamente customizado, como a máquina de papel, mostra que os princípios dessa filosofia de produção não precisam ficar restritos apenas ao ramo de empresas automobilísticas. A eliminação de desperdícios pode e deve ser um processo contínuo em qualquer empresa de qualquer setor.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção**. São Paulo, 2000.

COSTA NETO, P. L. O.; CYMBALISTA M. **Probabilidades - Resumos Teóricos**. São Paulo: Ed. Edgar Blücher, 2000.

COTRIM, M. **Palestra feita no II Fórum Datastream de Manutenção**. São Paulo, 2002.

FERREIRA, F. P. **Análise da Implantação de um Sistema de Manufatura Enxuta em Uma Empresa de Autopeças**. Taubaté: UNITAU, 2004. 180 p.

FOGLIATTO F. S.; FAGUNDES P. R. M. **Troca Rápida de Ferramentas: Proposta Metodológica e Estudo de Caso**. *Gestão & Produção* v.10, n.2, p.163-181, Ago. 2003.

KAMEDA, E. M.; CAVENAGHI, V. **Mapeamento do Fluxo de Produção: diagnóstico em uma empresa de transformação de materiais plásticos**. São Paulo: UNESP, 2000.

LEAN INTERPRISE INSTITUTE. **Léxico Lean – Glossário ilustrado para praticantes do Lean**. São Paulo: v. 1, 2003.

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

OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 1997.

ROTHER M., SHOOK J. **Aprendendo a Enxergar (Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício)**. São Paulo: v. 1.3, 2003.

SALERNO, M. S. **Estrutura Organizacional – Parâmetros**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, março, 2002. Leitura para a disciplina Organização do Trabalho na Produção, PRO2312.

SALGADO R. **Indústria acelera encomenda de máquinas**. Valor Econômico, 21 de março de 2005.

SELLITTO M. A. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. Revista Produção, v. 15, n. 1, p. 044-059, Jan./Abr. 2005.

SHINGO, S. **Una revolución en la producción: el sistema SMED**. Tradução: Tecnoaeronáutica S.A./ Antonio Cuesta Alvarez. Madrid: TGP Tecnologías de Gerencia y Producción S.A., 1993.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscilla Martins Celeste. 5. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel <<http://www.abtcp.org.br>>

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

**APÊNDICE A – Informações sobre os processos**

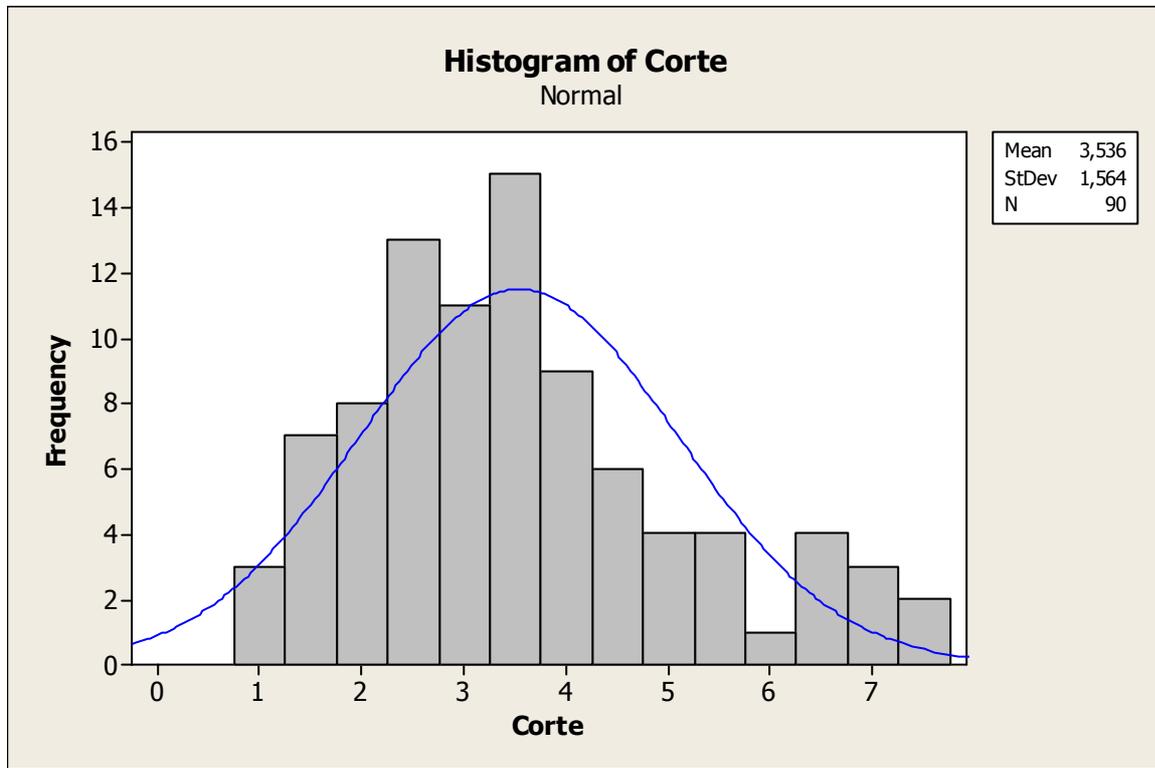


Figura 47 – Tempo de ciclo da operação de corte (dados do sistema de apontamento).

Como os dados da Figura 47 se referem a uma estimativa da média e desvio padrão do tempo de ciclo de uma chapa, o tempo de abastecimento do estoque de chapas, que é feito em lotes de 3 chapas, também é afetado pelo desvio. Como se trata de uma soma, para o cálculo da propagação de erros os desvios se somam, como é mostrado a seguir:

$$s_{LTR} \sim \sqrt{1,6^2 + 1,6^2 + 1,6^2} = 2,7$$

e para o cálculo da média basta multiplicar a média do tempo de ciclo de uma chapa por 3, como é mostrado a seguir:

$$\bar{X}_{LTR} \sim 3 \times 3,5 = 10,5$$

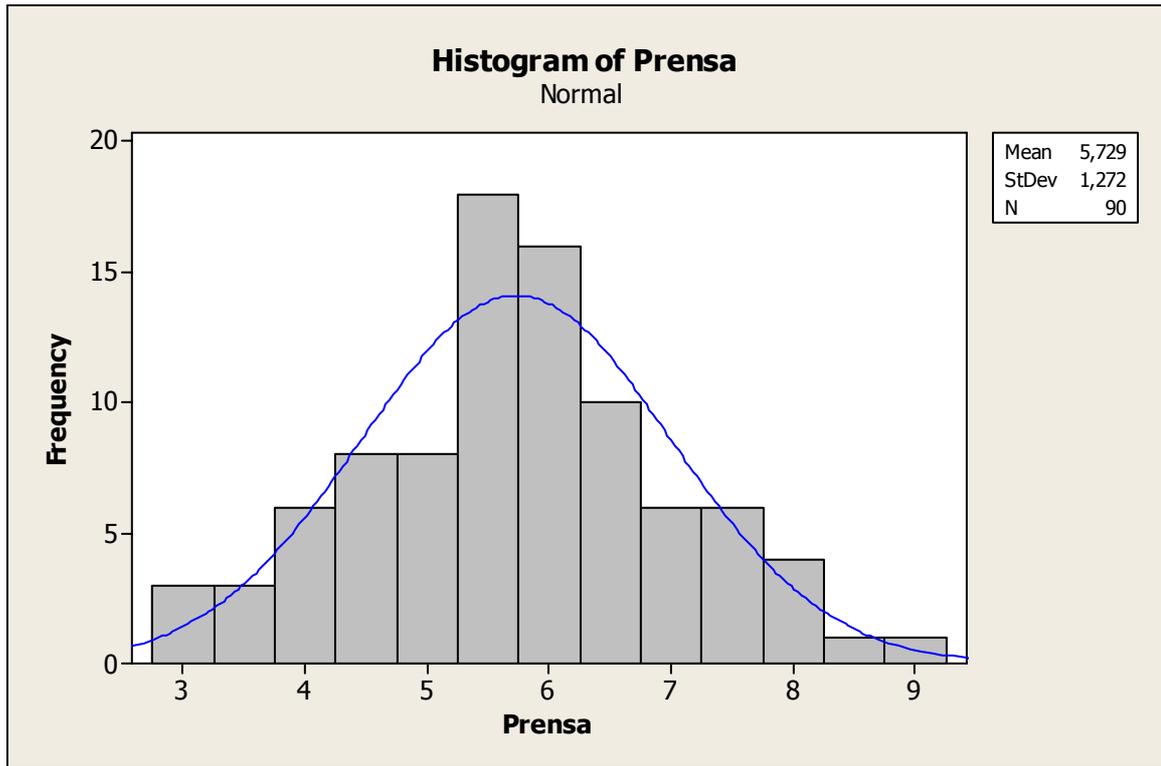


Figura 48 – Tempo de ciclo da operação da prensa (dados do sistema de apontamento).

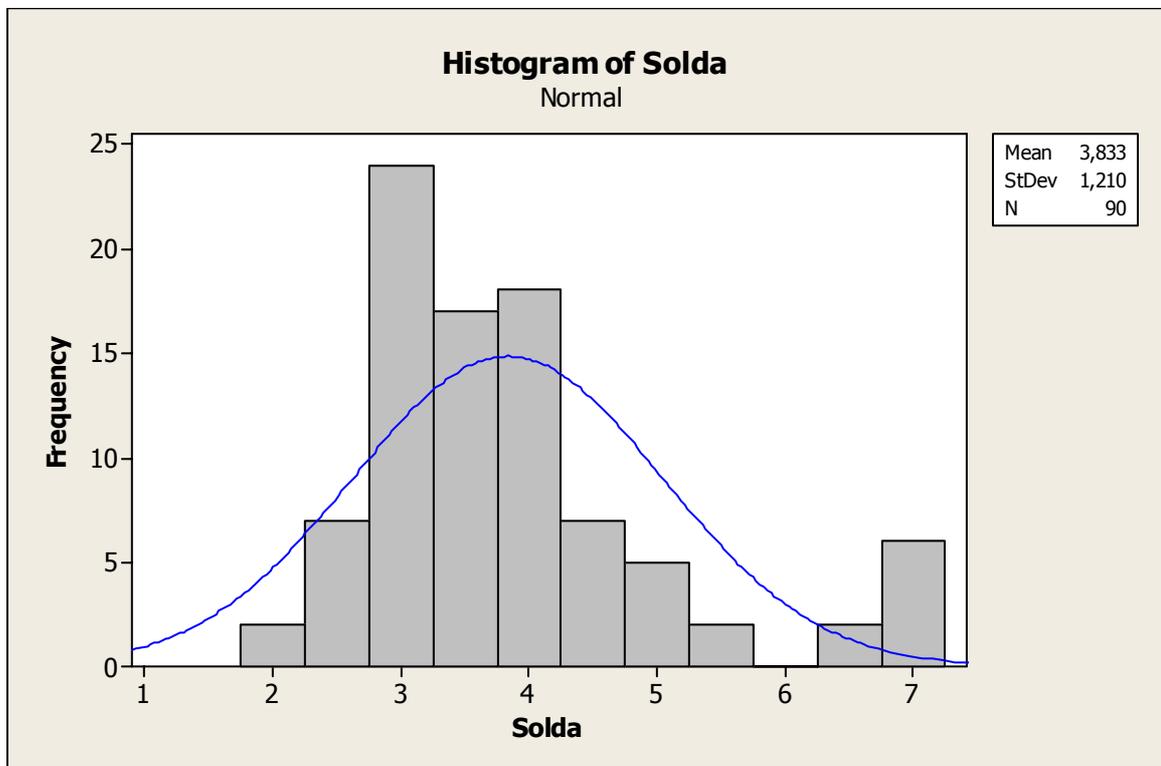


Figura 49 – Tempo de ciclo da operação de solda (dados do sistema de apontamento).

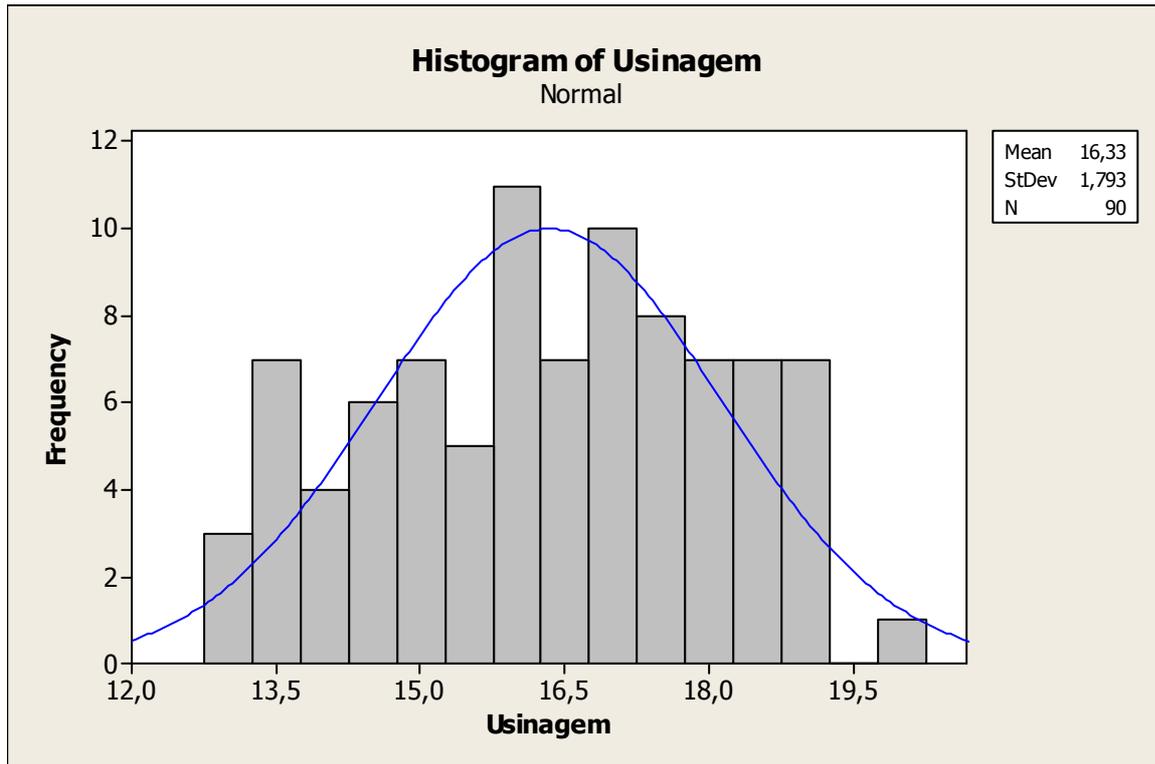


Figura 50 – Tempo de ciclo da operação de usinagem (dados do sistema de apontamento).

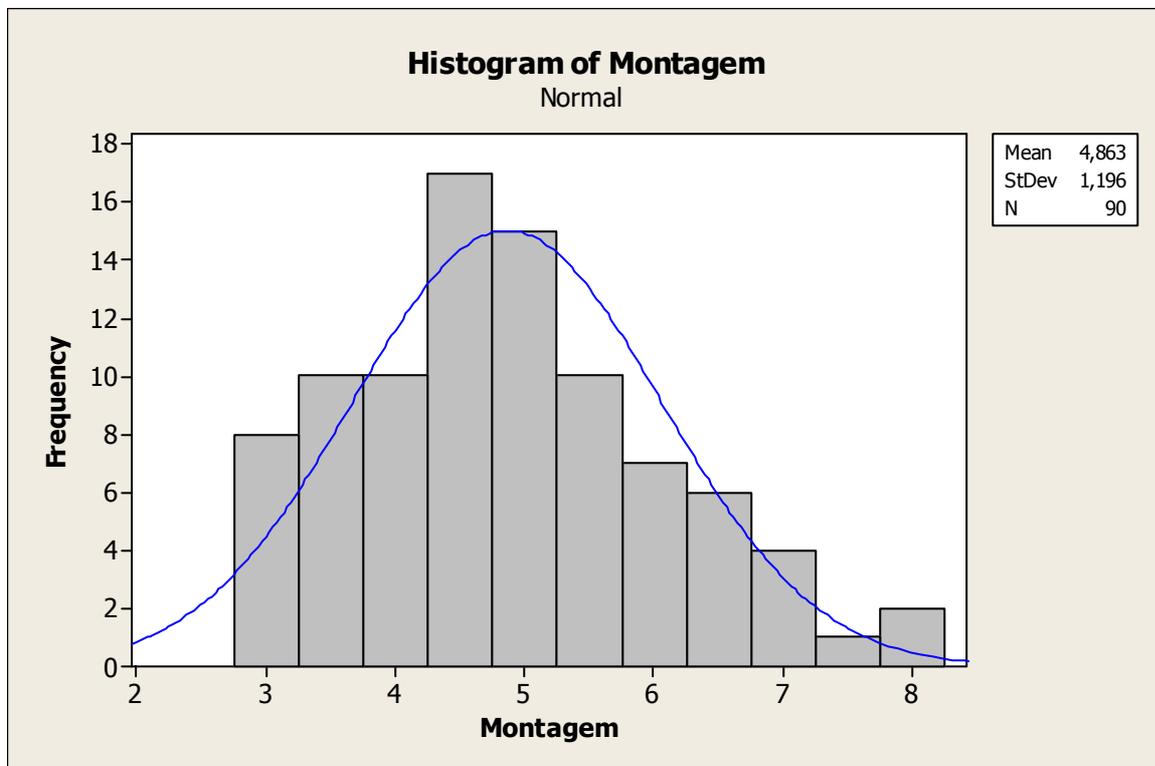


Figura 51 – Tempo de ciclo da operação da montagem (dados do sistema de apontamento).

No sistema de apontamento é possível identificar quantas horas o rolo demorou na célula de usinagem, mas não quanto tempo ele demorou em cada operação da célula. Portanto, esta divisão do tempo tomou como base o conhecimento dos operadores que distribuíram em porcentagem o tempo consumido em cada uma das cinco etapas (desbaste, abrir boca, montar aranha de balanceamento, montar bucha/ponta e acabamento). Para a etapa de desbaste, que foi estudada mais a fundo, foi acompanhada uma operação que permitiu descrever com maior detalhe os elementos de trabalho e suas durações, como foi apresentado na Tabela 16.

## APÊNDICE B – Informações da manutenção corretiva da máquina de corte

Código	Ocorrência	TTR <sup>1</sup> (dias)	TBF <sup>2</sup> (horas)
P01	11/08/05	1,0	
P01	22/08/05	2,0	11
P02	01/09/05	4,0	10
P02	15/09/05	3,0	14
P02	20/09/05	2,0	5
P02	28/09/05	9,0	8
P01	16/10/05	3,0	18
P01	20/10/05	5,6	4
P01	07/11/05	1,0	18
P01	08/12/05	1,0	31
P01	14/12/05	3,5	6
P01	18/01/06	2,5	35
P08	03/02/06	2,0	16
P01	03/02/06	2,5	0
P03	07/02/06	0,5	4
P03	17/02/06	0,5	10
P03	21/02/06	1,0	4
P08	21/02/06	2,0	0
P09	01/03/06	1,0	8
P09	07/03/06	1,5	6
P09	10/03/06	0,5	3
P01	23/03/06	1,0	13
P01	23/03/06	1,0	0
P06	23/03/06	2,0	0
P04	10/04/06	2,0	18
P04	24/04/06	2,0	14
P04	26/04/06	2,0	2
P01	10/05/06	1,0	14
P04	23/05/06	6,0	13
P02	26/05/06	1,0	3
P07	07/06/06	4,5	12
P02	09/06/06	2,5	2
P04	12/06/06	2,0	3
P06	14/06/06	5,0	2
P01	28/06/06	2,0	14
P08	04/07/06	3,0	6
P07	26/07/06	2,0	22
P08	10/08/06	2,0	15
P08	14/08/06	9,0	4
P03	17/08/06	1,0	3
P08	31/08/06	1,5	14
P08	13/09/06	2,0	13
P08	04/10/06	3,4	21
P04	06/10/06	6,0	2
P05	26/10/06	1,0	20
P04	06/11/06	3,5	11
P03	13/11/06	2,0	7
P08	22/11/06	3,5	9
P01	14/12/06	1,5	22
P02	03/01/07	4,0	20
P02	11/01/07	4,0	8
P02	23/01/07	4,0	12
P09	21/02/07	6,0	29
P07	21/02/07	2,0	0
P05	28/02/07	2,5	7
P04	02/03/07	2,0	2
P09	27/03/07	4,0	25
P04	10/04/07	3,5	14
P03	27/04/07	3,5	17
P07	04/05/07	9,0	7
P03	08/05/07	0,5	11
P09	15/05/07	1,0	7
P04	15/05/07	2,0	0
P06	18/05/07	5,0	3
P08	01/06/07	5,0	14
P09	04/06/07	8,0	3
P09	06/06/07	2,0	2
P07	12/06/07	8,0	6
P08	14/06/07	4,0	2
P01	26/06/07	2,0	12
P03	04/07/07	2,0	8
P07	11/07/07	3,0	7
P02	06/08/07	5,0	26
P08	14/08/07	2,0	8
		MTTR	MTBF
		3,0	10,1

Tabela 25: Histórico da manutenção corretiva da máquina de corte

<sup>1</sup> *Time to repair* (tempo de reparo)

<sup>2</sup> *Time between failure* (tempo entre falhas).



## APÊNDICE C – Informações sobre a aranha (dispositivo de fixação)

A partir das medidas tomadas pela observação do ajuste do dispositivo em diferentes diâmetros de rolo foi possível aproximar uma curva exponencial.

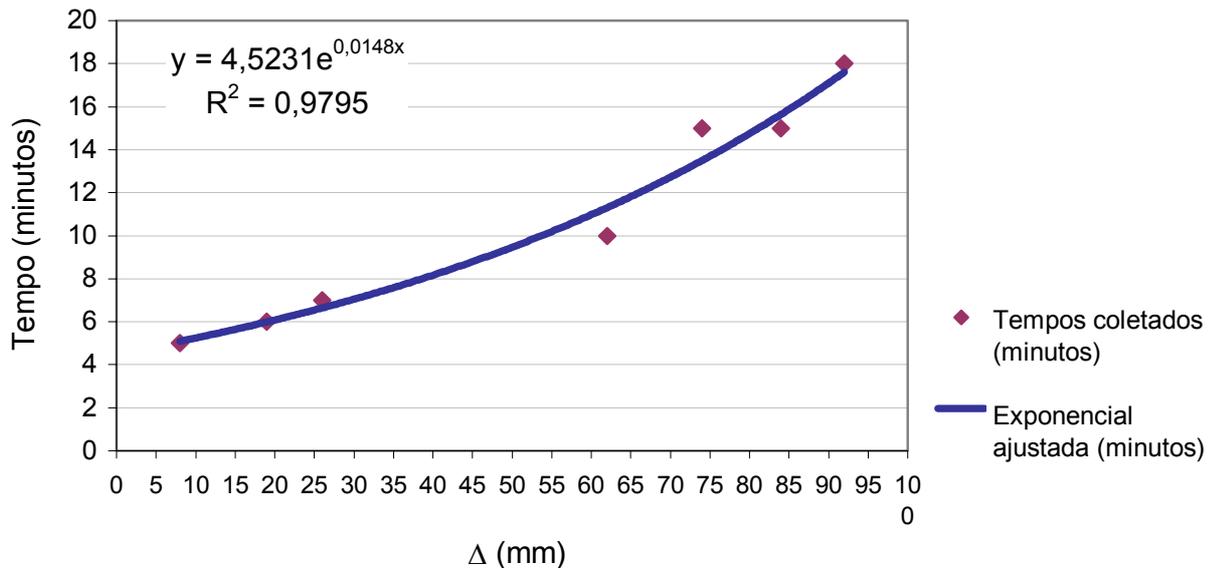


Figura 52 – Curva exponencial (tempo em função do  $\Delta$ )



Figura 53 – Galpão onde são armazenadas as aranhas.

Este galpão fica a 5 minutos da célula de usinagem. Além disso, as aranhas encontram-se espalhadas pelas prateleiras, exigindo, às vezes, a necessidade de uma empilhadeira, que nem sempre estão prontamente disponíveis e operantes.

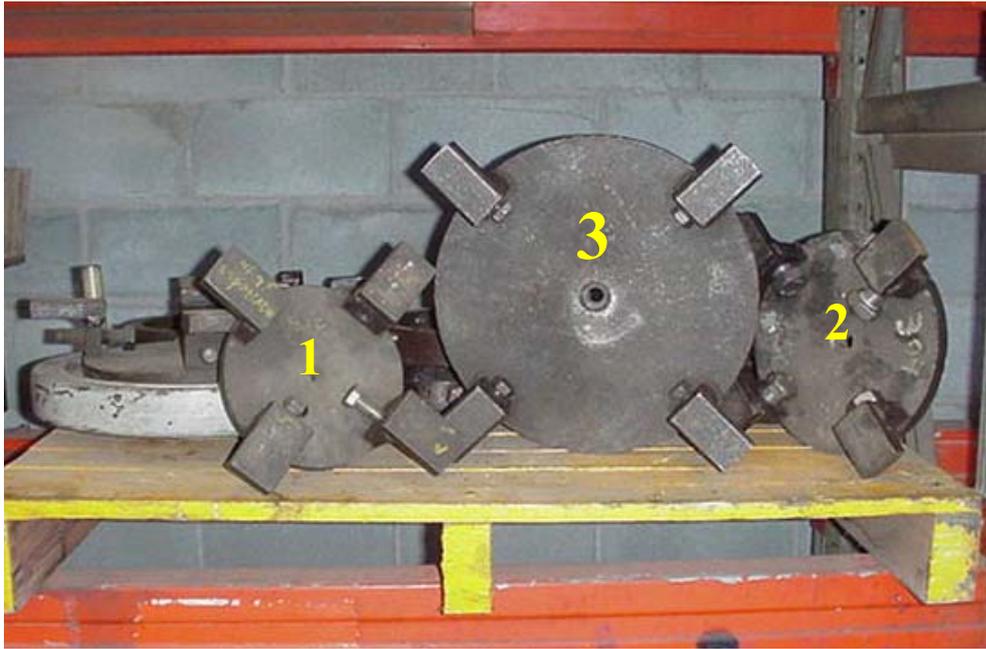


Figura 54 – Identificação das aranhas para facilitar a busca.



Figura 55 – Localização da bancada proposta para a célula de usinagem.



## **APÊNDICE E – Mapa do fluxo de valor depois das melhorias apresentadas**



## ANEXO A – Ícones utilizados na representação do fluxo de valor

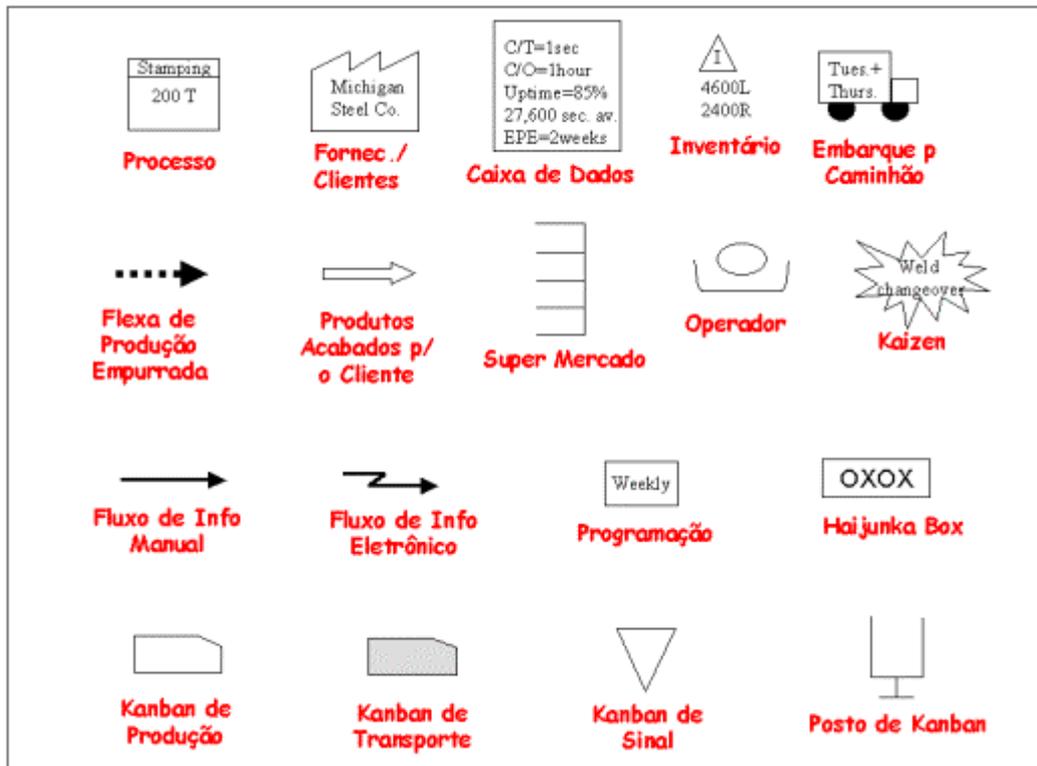


Figura 57 – Ícones utilizados na representação do mapeamento do fluxo de valor.

Fonte: <<http://www.numa.org.br>>