

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO PAULO CRISTOFOLINI

BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO

CURITIBA  
2010

JOÃO PAULO CRISTOFOLINI

ANÁLISE DO BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE RETARDOS PARA CORDEL

Monografia apresentada  
como requisito parcial para a  
obtenção de título de  
Especialista em Engenharia  
de Produção, Setor de  
Tecnologia, Universidade  
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Walter  
Nikkel

CURITIBA  
2010

# TERMO DE APROVAÇÃO

JOÃO PAULO CRISTOFOLINI

## BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Engenharia de Produção no curso de Especialização em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Walter Nikkel  
Departamento de Engenharia Mecânica, UFPR

Prof.  
Departamento de Engenharia Mecânica, UFPR

Prof.  
Departamento de Engenharia Mecânica, UFPR

CURITIBA, \_\_\_\_\_ DE \_\_\_\_\_ DE 2010

*À minha família que sempre me apoiou em todos os momentos,  
em especial meus pais e namorada por toda a ajuda durante a  
confecção deste trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas auxiliaram durante este período da monografia, algumas contribuindo com conversas interessantes sobre o assunto do balanceamento de linhas. Agradeço em especial ao setor de Engenharia de Processos da Empresa estudada, pelo longo tempo despendido em trocas de idéias, em especial aos senhores Ivan Carlos Mickos de Sá e Renato S. da Silva Quevedo.

Agradeço ainda ao senhor Danilo Abrantes Dias dos Santos por ter incitado a minha curiosidade através da apresentação de assuntos por mim desconhecidos levando a cursar esta especialização.

Por fim agradeço ao corpo docente do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, que com todo o seu saber conseguiu transmitir seu conhecimento de modo a enriquecer meu conhecimento em engenharia.

*Na vida, não existem soluções. Existem forças em marcha:  
é preciso criá-las e, então, a elas seguem-se as soluções.  
Antoine de Saint-Exupéry*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico da eficiência versus tempo de ciclo considerando equipes de diversos tamanhos.....	23
Figura 2 – Eficiência de produção em função do aprendizado segundo Fernandes e Dalaio. ....	23
Figura 3 – Tipos de relacionamento entre gargalos e não gargalos, fonte Manual do Planejamento e Controle da Produção, página 165 figura 6.15.....	25
Figura 4 – Caminho crítico do processo. ....	31
Figura 5 – Layout atual.....	32
Figura 6 – Layout proposto.....	33
Figura 7 - Tempos de processamento em cada etapa produtiva .....	36
Figura 8 – Taxa de Ocupação das Máquinas em Cada Operação.....	42
Figura 9 – Gráfico da ocupação do operador em cada uma das estações de trabalho.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Algoritmo para a designação de tarefas pela regra do tempo mais longo.....	20
Tabela 2 – Horas Paradas no dia 13/08/2009 .....	34
Tabela 3 – Horas Paradas no dia 14/08/2009 .....	35
Tabela 4 – Tempos das Operações Envolvidas .....	36
Tabela 5 – Tempo de produção por peça, precedência, capacidade e ordem de para ser o novo gargalo. ....	37
Tabela 6 – Relação das etapas produtivas e o número de estações de trabalho.....	39
Tabela 7 – Cálculo do tempo de ciclo em função do número de estações de trabalho.....	39
Tabela 8 – Cálculo da eficiência em cada estação de trabalho. ....	41
Tabela 9 – Cálculo da mão de obra necessária em cada estação de trabalho. ....	42
Tabela 10 – Ocupação dos colaboradores em cada uma das estações de trabalho.....	43



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Cálculo do Tempo de Ciclo.....	18
Equação 2 – Equação do número de peças produzidas.....	19
Equação 3 – Equação da produção máxima em um processo. ....	19
Equação 4 – Cálculo do número mínimo teórico de estações de trabalho.....	19
Equação 5 – Cálculo da eficiência. ....	21
Equação 6 – Perda por desbalanceamento. ....	21

## LISTA DE SIGLAS

TER	Tubo Elemento de Retardo
TC	Tempo de Ciclo
P	Produção
P <sub>D</sub>	Produção Desejada
T <sub>D</sub>	Tempo Disponível
T <sub>G</sub>	Tempo da Etapa Gargalo
ME	Número Mínimo Teórico de Estações de Trabalho
t <sub>E</sub>	Tempo de Cada uma das Etapas Produtivas
D	Desbalanceamento

## SUMÁRIO

OBJETIVO .....	22
INTRODUÇÃO .....	12
1 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
1.1 O QUE É BALANCEAMENTO DE LINHAS.....	13
1.2 CÉLULA DE TRABALHO.....	14
1.2.1 TIPOS DE LAYOUT DE CÉLULAS .....	16
1.3 TEORIA DAS RESTRIÇÕES .....	24
1.4 METODOLOGIAS DE BALANCEAMENTO.....	27
2 DESCRIÇÃO DE PROCESSO .....	29
2.1 COLETA DE DADOS .....	34
3 ANÁLISE DOS DADOS.....	37
4 CONCLUSÃO .....	46
5 REFERÊNCIAS .....	47

## **OBJETIVO**

O retardo para cordel é um produto que atualmente está apresentando uma grande demanda no mercado, assim a unidade produtiva teve seu quadro de funcionários aumentado e operação estendida para o segundo turno durante certo período. Com base teórica deverá ser feito um estudo para avaliar este aumento da mão de obra direta de modo a relacioná-lo com a produção da unidade promovendo a avaliação do uso deste recurso.

## **INTRODUÇÃO**

O balanceamento de linhas de manufatura é extremamente importante na indústria nos dias de hoje, pois, ele é uma ferramenta útil para melhor utilização dos recursos da empresa. O conceito envolvido no balanceamento é tornar os tempos de operação próximos à demanda de produto otimizando a mão de obra disponível para isto.

O intuito deste estudo de caso é avaliar uma linha de produção e o seu dimensionamento de mão de obra para uma maior rentabilidade, através do aumento da produtividade. Como resultado final para este estudo é esperado ter em mãos um trabalho com embasamento científico que permita o melhor dimensionamento da mão de obra na linha de manufatura.

Por fim com este estudo é visado que seja feita uma análise sobre a otimização e possível melhora no retorno deste produto para a empresa, e se há necessidade de manter um segundo turno nesta unidade.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão destacados os principais conceitos envolvidos no balanceamento de linhas, que podem ser utilizados em diversos sistemas de manufatura, buscando na base teórica o apoio para o estudo de caso desenvolvido.

### 1.1 O QUE É BALANCEAMENTO DE LINHAS

Segundo Shingo (1996), o balanceamento da produção é um dos pilares do Sistema Toyota de Produção, sendo seu objetivo fazer que um processo produza a mesma quantidade do processo precedente. Nesse sistema de produção os processos devem estar dispostos de modo a facilitar a produção da quantidade necessária no momento em que este material é necessário. Observe-se ainda que neste sistema os colaboradores, equipamentos e outros fatores como logística estão dispostos para que este fim seja alcançado.

Deste modo o ajuste dos tempos e volumes de produção são críticos, ainda mais se um processo subsequente necessitar de abastecimentos em tempos irregulares. Neste caso o processo precedente necessariamente precisará de mão de obra e equipamentos extras, observando-se ainda que quanto maiores forem tais inconsistências maior será a estrutura, leia-se mão de obra e equipamentos, que deverá ser mantida para amortecer estas irregularidades.

Black (1998) afirma que as quantidades de estoques no ambiente fabril estão sendo reduzidas e os processos estão cada vez mais interativos na cadeia produtiva, há uma forte necessidade de que as taxas de produção se tornem cada vez mais coordenadas. Idealmente o Tempo de Ciclo (*TC*) de cada uma das peças produzidas, assim como seu tempo de sub-montagem deve ser idêntica aos tempos de ciclo da linha de montagem final. Assim balancear os tempos de ciclos dos processos e montagens consiste tanto em equilibrar a mão de obra, quanto à necessidade de máquinas. Com estes conceitos uma fábrica tradicional realoca suas atividades e mão de obra ao longo da linha criando uma linha um pouco balanceada, quando em um conceito mais arrojado de fábrica o balanceamento deve se estender às linhas subordinadas ou subsequentes da linha principal.

Já Rocha (2005), afirma que o balanceamento é o ajuste da linha para atender as necessidades da demanda, maximizando a produção dos postos de trabalho ou estações buscando unificar o tempo unitário de confecção do produto.

De acordo com Assis (2009), uma linha de produção é composta por um ou mais Postos de Trabalho com posição fixa e seqüência lógica determinada de operações sucessivas para a confecção de um dos produtos possíveis para a linha de manufatura. Explicita-se ainda que um posto de trabalho possa ser composto por apenas um operador, ou por diversos operadores, os quais realizam tarefas manuais eventualmente assistidas por ferramentas ou máquinas.

O balanceamento de uma linha de produção consiste em distribuir a carga de diversas etapas produtivas o mais uniformemente possível pelos diversos postos de trabalho buscando o equacionamento para manter o tempo de produção o mais próximo à demanda do mercado pelo produto.

Consolidados os conceitos supracitados por Assis (2009), este afirma que basicamente dois tipos de problemas de balanceamento são propostos, onde Um deles busca o número mínimo de postos de trabalho para um dado tempo de ciclo, e outro busca o menor tempo de ciclo possível para um determinado número de postos de trabalho. Veladamente é concluído que em um dos casos está sendo projetada uma nova unidade ou linha quando é determinado número mínimo de postos de trabalho, e no caso da determinação do tempo de ciclo mínimo está sendo feito um re-balanceamento da linha produtiva já existente geralmente para aumento de capacidade.

Por fim para Fernandes & Dalalio (2000), o balanceamento de linhas é um problema de projeto da linha, portanto ainda não há esta linha fisicamente montada ao passo que durante a vida útil da linha aparecem os problemas de seu re-balanceamento. Então o re-balanceamento é um problema de operação da linha, o que é confirmado através do texto de Assis (2009).

## **1.2 CÉLULA DE TRABALHO**

Black (1998) define que uma célula de manufatura consiste em alocar máquinas, umas próximas às outras, usualmente em formato de U, ressaltando ainda que os equipamentos que compõe a célula de trabalho são pequenos e

simples. O percurso dos colaboradores que operam a célula também deve ser estudado com o intuito de que o operador esteja presente em um dado momento no equipamento que deve ser operado, ajustando o tempo de ciclo da célula ao tempo de ciclo da linha de montagem principal. Qualquer alteração na capacidade produtiva tanto da célula quanto da linha principal deve ser amortecida com o uso do sistema de estoques entre as duas células, devendo lembrar que estes estoques devem ser o mínimo para que não hajam paradas ou perdas produtivas pela falta de materiais.

É importante salientar que diferentes peças de uma mesma família produzidas na célula muitas vezes não usam todos os equipamentos e podem possuir tempos distintos de trabalhos em máquinas, porém todas as peças feitas por uma mesma célula deveriam ter um mesmo tempo de trabalho ou de ordem muito próxima. Os tempos de máquina também podem ser diferentes desde que estes sejam desligados do tempo de ciclo, já que este depende do tempo que o operador leva para completar o circuito de máquinas por ele operadas na célula.

Uma célula de trabalho pode ter sua taxa de produção modificada se colaboradores forem adicionados ou subtraídos no caso de uma grande variação na demanda, porém a concepção original dita que esta deva ser operada por um número fixo de colaboradores na maior parte de um tempo programado. Quando este tempo programado é modificado o número de colaboradores pode variar e ocasionalmente uma célula pode ser re-projetada sofrendo alteração no número de máquinas que a compõe, todas estas alterações são feitas com o objetivo de readequar os tempos de ciclo da célula com a linha principal.

Ainda de acordo com Black (1998) o balanceamento de uma célula torna-se mais fácil quando o tempo de ciclo é maior que 30 segundos, no caso de tempos inferiores à 30 segundos usualmente uma réplica da célula é feita. Esta replicação em geral requer grande investimento de capital em virtude do custo do maquinário ser elevado para que a produtividade do colaborador seja maximizada.

## **1.2.1 TIPOS DE LAYOUT DE CÉLULAS**

Primeiramente deve-se ressaltar que estes layouts que serão descritos a seguir podem ser aplicados tanto a células de pequena produção quanto a processos produtivos mais complexos.

### **1.2.1.1 LAYOUT DE PROCESSOS**

Ritzman e Krajewski (2004) afirmam que em processos de volumes de lotes reduzidos e com grande variedade de produtos o gestor da produção deve organizar os recursos produtivos em função dos processos desenvolvidos pela empresa. Estes layouts agrupam células de trabalho de acordo com a função principal da célula.

A disposição das células neste caso específico é feita em casos onde há dificuldade de previsão na demanda de produtos, onde ocorre o atendimento de clientes diversos com especificações também diversas, ou um mesmo processo atenda a um mix de produtos muito variados.

Estes autores ainda afirmam que este layout traz como principal benefício o baixo investimento de capital e uma flexibilização da produção, porém a especialização da mão de obra é imprescindível e a produtividade é menor se comparada a processos com layouts mais especializados.

Para Black (1998) este tipo de células é útil quando as informações geométricas das peças que devem ser produzidas não estão disponíveis, ou seja, podem variar de acordo com os lotes que possam aparecer. Um evento que pode gerar este tipo de layout é a necessidade de uma máquina específica que produz diversos tipos de peças e as células são desenvolvidas ao redor destas máquinas-chave, sendo concebida uma célula que produz uma chamada família de peças.

### **1.2.1.2 LAYOUT DE PRODUTOS**

Para Reid e Sanders (2005), este tipo de layout é utilizado quando os recursos são alocados em uma seqüência na qual o produto possa ser feito da



maneira mais eficiente possível, sendo utilizado em sistemas de alta capacidade produtiva de um único produto padronizado. Ao projetar layouts de produtos é importante consultar os diagramas de precedência para que o projeto monte estações que respeitem as necessidades de montagem do produto, como por exemplo, não alocar a operação de embalagem do produto antes da etapa de montagem final.

O objetivo ao projetar estes tipos de layout é definir quais serão as operações que devem ser realizadas em cada uma das estações na seqüência, respeitando como supracitado a ordem lógica desta produção e medindo a rapidez com que estes processos ou operações são realizados nas estações sendo denominado balanceamento de linhas.

Ainda segundo o mesmo autor há um roteiro que determina as etapas necessárias para a estruturação de um layout de produtos estas estão descritas a seguir.

A primeira etapa é a identificação das tarefas a serem realizadas e suas predecessoras imediatas para se fabricara este produto, recomendando também que nesta etapa sejam levantados os tempos de processamento de cada atividade gerando uma tabela contendo a etapa, suas tarefas precedentes e seu tempo de processamento. Entende-se como uma tarefa predecessora imediata aquela que deve ser feita obrigatoriamente antes para a conclusão do processo.

A segunda etapa consiste na determinação da taxa de saída, ou seja, a quantidade que deve ser produzida em um dado período, normalmente este dado advém de estudos de mercado. O objetivo final desta determinação é o projeto de um layout que atenda esta demanda com o mínimo de centros de trabalho ou células possíveis para realizar esta tarefa equilibrando as cargas de trabalho em cada estação.

A terceira etapa consiste na determinação do tempo de ciclo, que nada mais é do que o tempo que cada estação precisa para efetuar suas operações, estando relacionado diretamente com a freqüência com que um produto é concluído. Este tipo de operação torna-se mais natural ao observar uma seqüência de montagem onde cada célula esta posicionada em uma ordem lógica muito bem definida para obter o produto final.

Ao para uma linha de montagem como a de layout de produto será encontrado material em processamento em todos os estágios da linha, já que o início da linha começa agrupando algumas partes e o final da linha já termina o produto, ou o embala. O tempo de ciclo mais baixo destas linhas indica que o processo é mais produtivo, terminando mais unidades em um menor tempo.

A partir destas definições deduz-se a equação geral do tempo de ciclo indicada na equação abaixo.

$$TC = \frac{T_D}{P_D}$$

**Equação 1 – Cálculo do Tempo de Ciclo.**

Onde TC é o tempo de ciclo,  $T_D$  é o tempo disponível e  $P_D$  é a produção desejada.

Usualmente em linhas de montagem são utilizadas unidades como peças por segundo, dentro de cada processo podem haver diferentes unidades de tempo como por exemplo peças por hora ou até mesmo peças por dia.

Ainda relacionado ao tempo de ciclo aparece o conceito de gargalo que segundo este mesmo autor pode ser definido como sendo a tarefa de maior tempo da linha de produção atuando como uma limitação para o processo. O gargalo segundo esta definição determina o menor tempo de ciclo possível, este pode ser combatido de diversas formas que variam desde a divisão de operações realizadas dentro desta etapa ou através de ganhos na velocidade dos equipamentos.

Sempre que um gargalo é eliminado outro será encontrado, e este gargalo novamente será a etapa mais lenta do processo. Todos estes estudos em cima dos gargalos são importantes pelo fato de determinarem os volumes máximos de saída de produto. Matematicamente estas relações podem ser descritas pelas duas equações a seguir.

$$P = \frac{T_D}{TC}$$

**Equação 2 – Equação do número de peças produzidas.**

Onde TC é o tempo de ciclo,  $T_D$  é o tempo disponível e P é a produção.

$$P = \frac{T_D}{T_G}$$

**Equação 3 – Equação da produção máxima em um processo.**

Onde  $P_{\max}$  representa a produção máxima,  $T_D$  o tempo disponível, e por fim  $T_G$  representa o tempo da etapa gargalo na produção.

A quarta etapa do design de layouts de produtos consiste no cálculo do número mínimo de estações de trabalho teóricas. Este número mínimo fornece o dado de quantas estações de trabalho seriam necessárias para efetuar a produção se a linha obtivesse uma eficiência de 100%, o que na prática é muito pouco provável que seja obtida tal eficiência.

De modo geral é normal um processo possuir um número maior de estações do que o mínimo teórico, a importância deste cálculo é a orientação de quantas estações devem ser instaladas. O cálculo para a determinação destas estações está descrito na relação abaixo.

$$ME = \frac{\sum t_E}{TC}$$

**Equação 4 – Cálculo do número mínimo teórico de estações de trabalho.**

Onde ME representa o número mínimo teórico de estações,  $t_E$  os tempos necessários e TC tempo de ciclo.

Os resultados que terminam fracionados devem sempre ser arredondados, pois, não existem estações de trabalho parciais sendo um bom critério de determinação conhecer a demanda a longo prazo para determinar se este

arredondamento será feito para mais uma estação caso haja o aumento de demanda ou para baixo caso a tendência de demanda seja o decréscimo.

A designação das tarefas em cada uma das estações de trabalho é definida como a quinta etapa do projeto, já que esta é dependente de todas as etapas anteriores para a melhor designação.

Usualmente é utilizada a regra do tempo de tarefa mais longa para a seleção das tarefas da célula de trabalho, esta basicamente estabelece que ao escolher uma tarefa de uma célula deve ser selecionada a que consome mais tempo. É visto que na prática há outros modos de escolha das tarefas podendo adotar até mesmo um item fundamental à qualidade como fator determinante.

Ainda segundo este mesmo autor o modo de distribuição das tarefas obedece à tabela abaixo extraída do livro *Gestão de Operações* na página 202.

**Tabela 1 – Algoritmo para a designação de tarefas pela regra do tempo mais longo.**

Etapas	Procedimento para a designação de Tarefas às Estações de Trabalho
A	Iniciar com a primeira estação, fazer uma lista de tarefas qualificadas para serem executadas, seguindo os relacionamentos de precedência.
B	Selecionar da lista de tarefas qualificadas aquela que leva o maior tempo (regra do tempo de tarefa mais longo): Se apenas uma tarefa for qualificada, não é preciso adotar a regra.
C	Quando o tempo de ciclo tiver se esgotado em uma estação ou se nenhuma tarefa puder ser designada para o tempo restante, dar partida à uma nova estação

A última etapa descrita é o cálculo da eficiência, tempo ocioso e atraso do equilíbrio. A eficiência é dada pelo tempo real de produção dividida pelo tempo total disponível nas estações, sempre sendo expressa em termos percentuais conforme a relação abaixo evidencia.

$$\eta = \left( \frac{\sum t_E}{TC \cdot ME} \right) \cdot 100$$

**Equação 5 – Cálculo da eficiência.**

Onde  $\eta$  representa a eficiência em termos percentuais,  $t_E$  o tempos das tarefas, TC o tempo de ciclo e ME o número mínimo de estações de trabalho.

Esta equação apresenta em seu numerador o tempo de trabalho real, já seu denominador consiste no tempo alocado para realização das operações, assim o aumento da eficiência se dá ao designar uma maior carga de trabalho à um número menor de estações necessárias para realizar a produção desejada.

Outra ferramenta útil é o calculo da ineficiência da linha, também conhecido por atraso de equilíbrio ou perda por desbalanceamento dado pela equação abaixo.

$$D = 100 - \eta$$

**Equação 6 – Perda por desbalanceamento.**

Onde D é a perda por desbalanceamento representada em porcentagem e  $\eta$  é a eficiência.

Há ainda muitos outros detalhes que devem ser observados nestes layouts além das etapas citadas, como por exemplo, a forma da linha que pode gerar um melhor fluxo material na produção. Deve ainda ser observado que apesar ser designada como linha de produção muitas vezes o layout adquire outras formas como o formato em U que pode facilitar a troca de informações entre o início e o fim da linha.

Outro detalhe que se torna importante segundo este mesmo autor é se a linha é compassada ou descompassada, onde em uma linha compassada o produto se move ao longo da linha automaticamente quando o tempo de ciclo expira. Finalizando há ainda o fator chamado de mix de produtos quando uma linha produz mais de um modelo ou versão de um produto, sendo que linhas com modelos mais variados são naturalmente mais flexíveis e ao mesmo tempo mais complexas na questão de programação da produção e setups de máquinas.

Corroborando com o que foi descrito anteriormente Ritzman e Krajewski (2004), afirmam que layouts de produto, chamados de processos em linha ou contínuos são melhores em produções repetitivas com grandes volumes demandado. Isto ocorre principalmente pelo fato do seqüenciamento lógico da montagem mover o produto em um fluxo uniforme e contínuo onde os recursos estão dispostos em torno do percurso produto em vez de partilhados entre muitos produtos.

Este ainda afirma que se comparado a layouts de processos, os layouts de produtos estão baseados em altos investimentos de capital e recursos especializados com tempos de processamento menores, estoques menores e menos perdas produtivas em função da movimentação de materiais. Há ainda a facilidade de localização das operações por ocorrerem em uma seqüência determinada. O grande desafio nestes layouts é a otimização dos recursos empregados para que os custos sejam mais competitivos no mercado.

Black (1998) complementa que este layout é estratégico principalmente no que se refere a estoques sendo geralmente ligados em linhas de montagem de apoio com métodos de manufatura Just-In-Time.

A respeito das relações utilizadas para os cálculos do balanceamento de linhas Assis ressalta que a eficiência dos operadores nas linhas está intimamente ligada com o tempo de ciclo de produto. Por exemplo, uma linha com apenas um operador terá maior ocupação do seu tempo até dado limite, depois se um segundo operador for contratado para auxiliá-lo a eficiência dos operadores abaixa para um mesmo tempo de ciclo tornando a aumentá-la com a diminuição deste tempo e assim sucessivamente para cada novo colaborador.

Este fato ocorre pelo fato de que para um mesmo tempo de ciclo uma pessoa a mais faz com que a folga entre as operações aumente, e a medida que a demanda cresce a folga da linha diminui aumentando a eficiência. Ainda analisando o gráfico abaixo é possível observar que depois de certo ponto há uma grande dificuldade para diminuir o tempo de ciclo, isto porque a limitação passa a ser o maquinário e não a mão de envolvido nas operações.

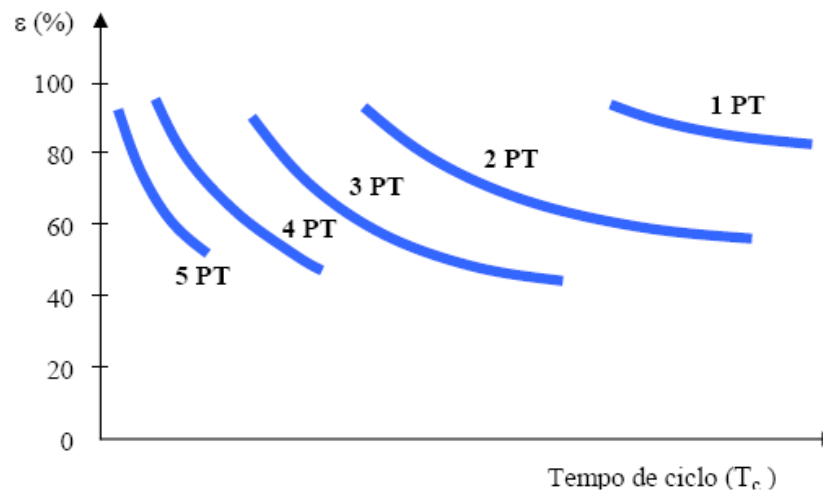


Figura 1 – Gráfico da eficiência versus tempo de ciclo considerando equipes de diversos tamanhos.

Um segundo fator relevante na eficiência de produção de acordo com Fernandes é a curva de aprendizagem do operador em função das peças produzidas. Este aumento como pode ser observado ocorre de maneira exponencial, uma vez que o operador se adapta ao posto. É interessante ressaltar ainda que Fernandes e Dalalio afirmam: “À medida que os meses passam,  $T$  aumenta. Se houver num dado momento, uma grande demissão ou contratação de operários, uma nova curva deverá ser estabelecida com somente os dados a partir desse momento.”

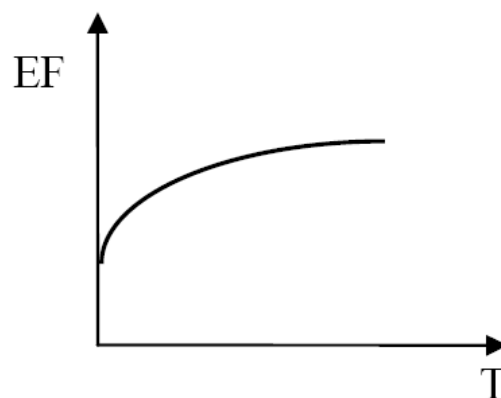


Figura 2 – Eficiência de produção em função do aprendizado segundo Fernandes e Dalalio.

### 1.2.1.3 LAYOUT HÍBRIDO

Em muitos casos de manufatura nenhum dos dois layouts é possível assim segundo Reid e Sanders (2005) é possível combinar os pontos fortes de cada tipo de layout buscando aprimorar os sistemas produtivos.

Ainda em suas afirmações Reid e Sanders (2005), apontam que os pontos fortes do layout de processo são a flexibilidade de produção e o baixo custo de instalação, porém deixa a desejar em produtividade, estoques mantidos, necessidade de mão de obra especializada e ineficiência no fluxo material inter celular. Os pontos fortes do layout de processos são a alta produtividade, baixos níveis de estoque e eficiência na movimentação dos materiais, porém requer elevado investimento de capital e possui baixa flexibilidade para variar o mix de produtos.

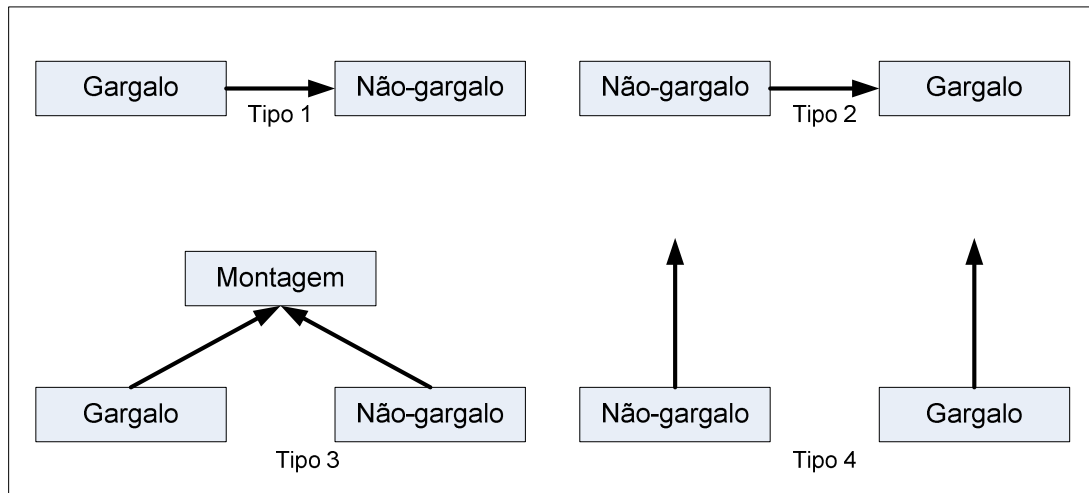
Complementando as afirmações supracitadas Ritzman e Krajewski (2004), comentam que os layouts de processos acabam por complementar a linha de composta pelo layout de produto produzindo os diversos tipos de peça que podem ser utilizados nas montagens que seguem uma seqüência mais específica.

## 1.3 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Segundo Tubino (1997), a Teoria das Restrições originou-se quando pesquisadores procuravam alternativas para a lógica convencional de planejamento e programação da produção via MRP, no final da década de 70, quando foi desenvolvido um *software*, mais conhecido como OPT (Optimized Production Technology).

Limita-se o fluxo de itens no sistema através do gargalo que é um ponto do sistema (homens, máquina, demanda, transporte, espaço, etc), e segundo Tubino (1997), podem ser identificados na Figura 3 quatro tipos básicos de relacionamento entre recursos gargalos e não-gargalos.





**Figura 3 – Tipos de relacionamento entre gargalos e não gargalos, fonte Manual do Planejamento e Controle da Produção, página 165 figura 6.15.**

Na primeira relação (tipo 1), constata-se que o fluxo produtivo flui de um recurso gargalo para um não-gargalo, de modo que o recurso não-gargalo é limitado a trabalhar apenas na velocidade do fornecimento de itens pelo recurso gargalo.

Na segunda relação (tipo 2), a situação é inversa, um recurso não-gargalo abastece o gargalo, e neste caso parte da produção passará pelo gargalo e parte formará estoques em processo no sistema, caso o recurso não-gargalo opere em tempo integral durante o tempo disponível de produção.

O terceiro tipo apresenta uma situação de montagem, na qual um recurso de gargalo e um não-gargalo alimentam uma linha de montagem, onde a produção do recurso gargalo limita o fluxo produtivo da linha de montagem e, se acionado mais do que esta velocidade, o recurso não-gargalo gerará apenas estoques em processo antes da montagem. Esta situação é semelhante à gerada no tipo 2 no que cabe à formação de estoques.

No quarto tipo, os recursos gargalo e não-gargalo atendem diretamente à demanda de mercado. Neste caso, os gargalos podem ser tanto externos quanto internos ao sistema produtivo, em outras palavras, o recurso de gargalo trabalhará de acordo com a limitação de sua capacidade, sendo ela toda absorvida pelo mercado, enquanto o recurso não-gargalo deverá ser acionado unicamente para atender o fluxo gerado pela sua demanda.

A seguir serão apresentadas as dez regras da Teoria das Restrições, apresentadas por Tubino (1997).

A primeira regra dita que a taxa de utilização de um recurso não-gargalo é determinada por uma restrição de sistema e não por sua capacidade de produção. Assim, nada adianta programar um recurso não-gargalo para produzir 100% de sua capacidade, uma vez que apenas estarão sendo gerados estoques intermediários e despesas operacionais.

A segunda regra afirma que a ativação e utilização de um recurso não são sinônimos. Segundo a Teoria das Restrições, os recursos devem ficar parados assim que atingirem as limitações dos gargalos e devem ser ativados somente na medida em que incrementarem o fluxo produtivo.

De acordo com a terceira regra o tempo perdido num recurso gargalo é tempo perdido em todo o sistema produtivo. Nos recursos gargalos a perda da produção se repercutirá em todo o sistema, reduzindo seu fluxo, pois neles não há tempos ociosos.

Segundo a quarta regra não representa nada uma hora ganha em qualquer recurso não gargalo. Ao contrário dos recursos gargalos, os não-gargalos possuem tempos ociosos e qualquer ação que acelere o tempo produtivo destes recursos, acarretará na transformação de tempo produtivo em mais tempo ocioso.

A quinta regra afirma que os lotes de processamento não devem ser fixos e sim variáveis. Nos recursos não-gargalos, os lotes devem ser limitados a fim de agilizar o fluxo da produção dos gargalos e reduzir os custos dos estoques em processo. Ao contrário dos recursos não-gargalos, os gargalos devem ser em grandes lotes para diluir os tempos de preparação, a fim de transformá-los em tempos produtivos.

A sexta regra dita que não há necessidade de que os lotes de processamento e de transferência sejam iguais. Os lotes de transferência devem ser considerados segundo a ótica do fluxo, ao passo que os lotes de processamento devem seguir a ótica do recurso no qual se está trabalhando, segundo a Teoria das Restrições.

A sétima regra diz que os gargalos conduzem tanto o fluxo como os estoques do sistema. Os gargalos são abastecidos pelos estoques de segurança,

dando-se tempo para corrigir eventuais problemas antes que eles afetem o fluxo dos gargalos.

Para a oitava regra devem ser consideradas simultaneamente a capacidade do sistema e a programação das ordens, e não seqüencialmente. Conforme a Teoria das Restrições é feita a consideração que os *lead times* não são fixos, assim para cada alternativa de seqüenciamento analisada, diferentes *lead times* serão obtidos. O seqüenciamento das ordens é realizado tendo por base índices que empregam *lead times* padrões predeterminados.

Segundo a nona regra o balanceamento é do fluxo, não da capacidade. É importante buscar um fluxo contínuo do sistema produtivo de lotes, sujeito a passar por gargalos, segundo a Teoria das Restrições. Assim a ativação, ou utilização de recursos, deve se dar no sentido de maximizar o fluxo.

Por fim a décima regra diz que a soma dos ótimos locais não é igual ao ótimo global. O conjunto de soluções otimizadoras individuais para cada recurso ou grupo geralmente não leva ao ótimo global, uma vez que em um sistema produtivo as soluções devem ser pensadas de forma global.

#### **1.4 METODOLOGIAS DE BALANCEAMENTO**

Para Fernandes e Dalalio (2000), nos problemas de balanceamento há algumas metodologias que podem ser empregadas, comumente a metodologia determinística é utilizada, porém alguns problemas utilizam metodologias chamadas estocásticas simulando uma aleatoriedade em função do comportamento da função. Cada um dos métodos tem suas vantagens e desvantagens, que variam desde simplicidade à confiabilidade dos resultados.

Ainda segundo Fernandes e Dalalio (2000), os métodos heurísticos, sejam determinísticos ou estocásticos estão sumarizados e detalhados suficientemente para fornecer o estado da arte. Estes modelos utilizando a metodologia determinística, de modo geral são mais simples, porém não fornecerão uma resposta exata apresentando por consequência uma confiabilidade menor em relação a outros métodos ditos exatos.

Segundo Falkenauer (2005), muitos problemas são complexos quando incutidos os parâmetros reais, sendo que alguns modelos não permitem esta

sofisticação. Deste modo há problemas que são muito difíceis para a obtenção da solução ótima, sendo que métodos heurísticos muitas vezes simplificam muito o trabalho.

Ainda de acordo com Falkenauer, é importante ainda ressaltar que estes métodos heurísticos são aplicáveis apenas à pequenos processos não a um processo como uma linha de montagem de veículos onde há milhares de operações. Este fato demonstra que a décima regra da teoria das restrições se aplica no caso de seccionar o problema em partes menores, uma vez que tais partes não terão interação.

Corroborando com o que foi dito sobre a resolução de problemas de balanceamento, Togawa, Diniz de Paula e Álvares (2001) afirmam que as diferentes metodologias de resolução dos problemas de balanceamento de linhas envolvem diferentes restrições, e cada uma delas pode chegar mais perto de um chamado ótimo.

Muitas vezes o processo heurístico que segundo os autores Togawa, Diniz de Paula e Álvares (2001) utiliza o bom senso e a lógica ao invés de uma prova matemática mostra-se mais simples e apresenta bons resultados, com base neste método há algoritmos desenvolvidos para a geração de diversos cenários ao invés de buscar uma solução ótima para o problema. Assim foi concebido o algoritmo COMSOAL em 1966 gerando diversos cenários e sempre mantendo o cenário mais proveitoso à produção.

## 2 DESCRIÇÃO DE PROCESSO

O processo produtivo de retardos para cordel é feito com o lote mínimo de 100 peças, já que sua comercialização é feita em embalagens que contém esta quantidade de produto, portanto os tempos serão descritos em função sempre da produção desta quantidade de peças.

A produção do retardo para cordel inicia-se a partir da dosagem do misto de retardo. Nesta etapa de dosagem o misto é recebido em um recipiente com capacidade de aproximadamente 40 gramas. A partir deste recipiente com o uso de colheres de dosagem o operador alimenta recipientes com as doses que serão utilizadas na próxima etapa da produção.

Depois de dosado o misto são feitas amostras em cada uma das prensas de tubo de elemento de retardo (TER), e são montados retardos de cordel para a determinação do tempo do retardo para que possa ser feito o setup de processo.

O setup de processo envolve três variáveis essencialmente que são: o tipo de misto de retardo de acordo com o tempo necessário, o pino de prensagem das prensas e a pressão com a qual o retardo é prensado. Ajustado o setup a produção dá continuidade em sua operação normal seguindo o fluxo na linha de montagem do produto.

Nas prensas dos TER é feita a alimentação da dose de misto formando a coluna que fará a temporização da peça. A coluna de misto deve ser compactada para que não haja variação no tempo de queima da peça e esta coluna ainda possui uma limitação física da quantidade de misto que ela pode conter.

Diferentemente de outros tipos de processos quando se trabalha com explosivos busca-se trabalhar com a menor quantidade de material possível junto ao posto de trabalho evitando riscos, por conseqüência o número de doses junto à prensa é limitada a 100.

Com a limitação citada o operador das prensas de TER busca o material para a dosagem no posto onde é dosada a matéria prima, leva o material até seu posto de trabalho, prensa os TER, faz a conferencia de altura de coluna e leva os TER para a área de estocagem para serem utilizados na seqüência do processo. É interessante ressaltar que o controle na coluna de misto é feito por amostragem em cinco peças prensadas.

Na seqüência do processo o TER deve ser inserido em uma espoleta para que o TER temporize a detonação. Esta operação é realizada em uma prensa que introduz o retardo na espoleta sob determinada pressão. Esta operação faz a inserção em duas espoletas a cada ciclo, como o Retardo para cordel é constituído por duas espoletas a cada ciclo um Retardo é produzido.

Assim como no posto de trabalho da prensa de TER a prensa adjunta possui um limite de material para até 200 peças, observe-se que este volume é maior porque não há a presença de poeiras diminuindo o risco de deflagração do misto. Em função do volume de peças o operador se ausenta do posto para buscar mais material, que no caso são as espoletas e os TER, ou para levar material para a próxima operação que é a colocação de bucha plástica.

A etapa seguinte do processo é a inserção de bucha nas espoletas para que não haja a presença de água no produto que pode afetar diretamente o desempenho. Esta inserção é feita através de uma prensa que possui uma matriz para dez espoletas onde as espoletas e buchas são posicionadas para a execução do ciclo. O operador desta etapa se locomove para pegar matérias-primas e entregá-las para a etapa seguinte.

De posse das espoletas com bucha estas são inseridas aos pares em um estojo de alumínio na chamada prensa de inserção de espoletas. Este dispositivo de inserção é semelhante à prensa adjunta, a variação na operação está na pressão de operação que não deve iniciar as espoletas. Este dispositivo montado é a base temporizada do retardo, porém ainda não possui a vedação necessária para que não haja a entrada de água no produto.

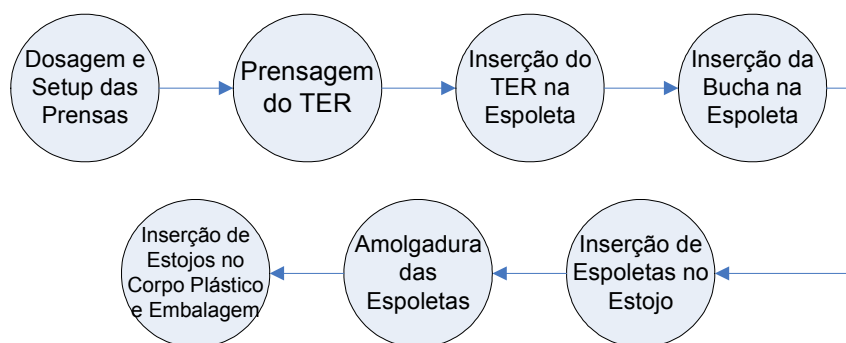
A selagem do dispositivo é feita através da amolgadura do estojo de alumínio sobre as buchas das espoletas em uma outra etapa. Como são duas espoletas que compõe o dispositivo são necessárias duas amolgaduras no dispositivo, sendo feitas de um lado e depois no lado que ainda não foi amolgado. Esta etapa também é realizada em um local diferente para que o risco da operação seja diminuído no sentido de evitar as deflagrações.

Para finalizar a montagem do retardo para cordel ainda é feita a inserção do dispositivo devidamente amolgado em um corpo plástico que tem a função de prender o retardo de cordel ao cordel detonante. Esta operação também é feita em

uma prensa de inserção, e ainda nesta etapa é feita a leitura e embalagem prévia do produto.

A etapa de leitura de cada peça faz parte da rastreabilidade de cada um dos produtos, sendo esta obrigatória no caso de explosivos. Ainda há mais uma particularidade nas embalagens que são utilizadas três caixas, duas internas e outra externa para que sejam atendidas as normas da ONU no que diz respeito ao transporte de explosivos.

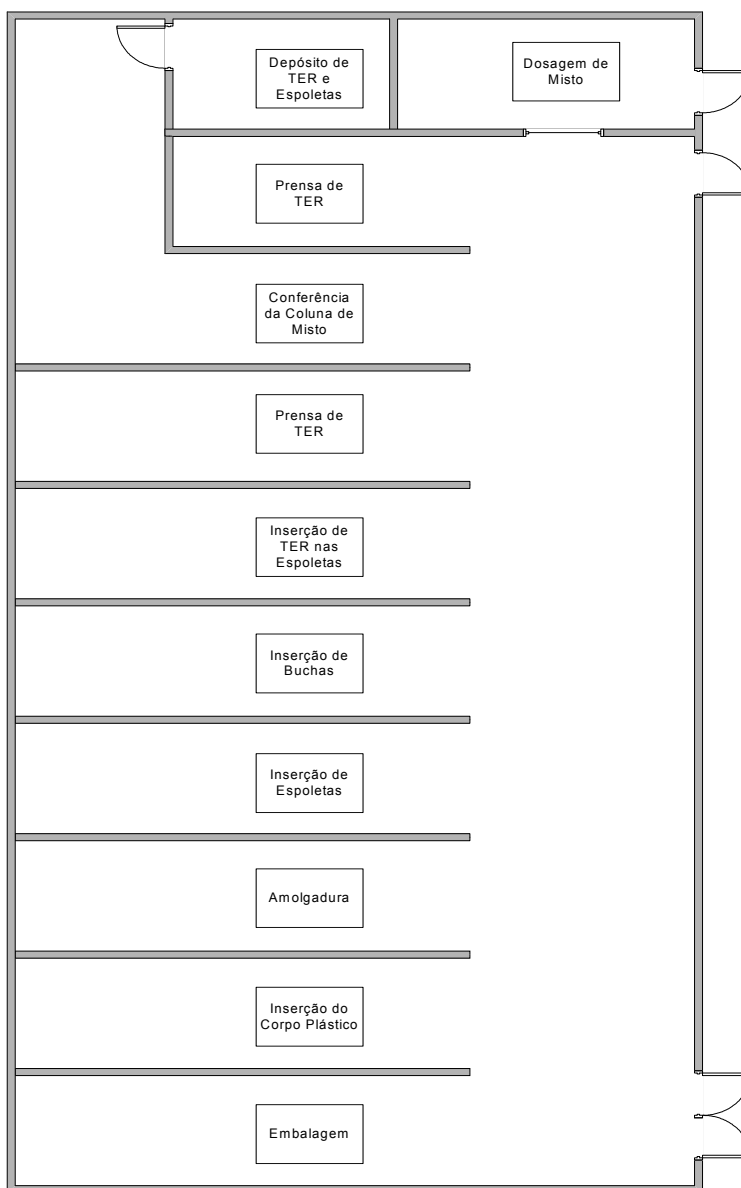
A seguir será apresentado o caminho crítico das etapas de produção do retardo para cordel evidenciando o modo de concepção do layout do processo da unidade. Pelo caminho crítico pode ser observado que não existem etapas que ocorrem em paralelo o que dificulta a aceleração da montagem do produto estando sempre limitados pela operação que a antecede imediatamente.



**Figura 4 – Caminho crítico do processo.**

Pela descrição de cada um dos processos é possível perceber que o layout do processo não é favorável no sentido de fluxo produtivo uma vez que o material gera riscos aos colaboradores. Em virtude deste layout é perdido muito tempo em deslocamentos e não há contato visual com os demais colaboradores dificultando até mesmo fluxo de informações entre eles como, por exemplo, quando um determinado ciclo de peças está para acabar.

Analisando o layout do processo pode ser observado que ele é classificado como um layout de produto, pois, do modo como foi concebido não há flexibilidade no processo e ainda está voltado para uma produção visando maximizar as quantidades de produto lançadas ao mercado.



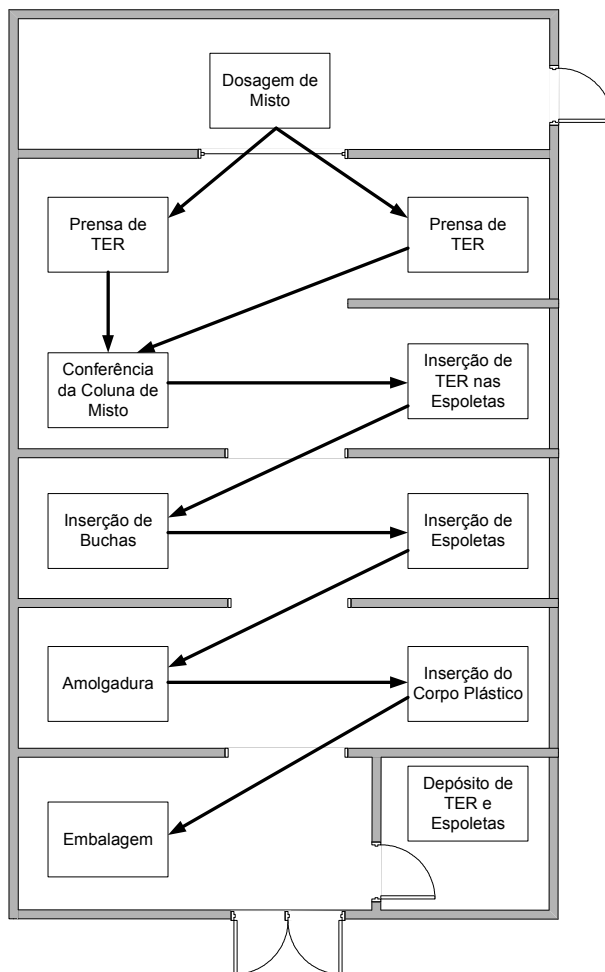
**Figura 5 – Layout atual.**

O layout instalado para este processo já está instalado há pelo menos 30 anos, o que implica que este ainda possui pontos que não eram passíveis de otimização como recursos que são encontrados facilmente hoje. Além disso, este layout não teve os conceitos de carga distância, sendo baseado em uma célula de produção totalmente linear e enclausurando os processos para evitar possíveis detonações pela chamada simpatia, quando uma detonação ocorre em virtude do produto estar próximo a uma primeira detonação.

Uma sugestão de layout pode ser vista na seqüência da apresentação do layout atual da planta de produção. O novo layout implica em um menor caminho



entre etapas e ainda conta com dispositivos mais modernos para o aumento da segurança do processo, como sensores eletrônicos mais desenvolvidos, maquinário mais robusto e produtivo.



**Figura 6 – Layout proposto.**

Apesar das vantagens não há viabilidade econômica em alterar este layout de processo já que por legislação toda e qualquer alteração no processo deve ser comunicada às autoridades militares gerando custos de processo que não incrementam de forma significativa a produção.

Ainda é obrigatória grande alteração na estrutura civil do prédio além da necessidade utilidades que alimentam o maquinário de modo que investimentos mais sólidos em maquinário proporcionam melhores resultados. Este segundo layout foi proposto apenas para fins de corroboração com a teoria apresentada neste trabalho, sendo uma alternativa quando se pensa em um novo projeto.

## 2.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados para este estudo ocorreu durante um acompanhamento de dois dias da produção dos retardos para cordel, iniciando às 07:30 da manhã e encerrando às 01:50 da noite. O acompanhamento de turnos foi registrado de modo que fosse possível obter o seguinte dado: Tempo em que o posto de trabalho está inoperante (vazio).

O modo de coleta dos tempos foi feito anotando o tempo que o posto de trabalho ficava vazio, ou seja, sempre que não havia ninguém apto a operá-lo. Como a unidade consiste de um corredor com divisões entre os postos de trabalho, conforme a Figura 5, então é facilmente visto quando um posto de trabalho está sem operador, tornando a quantificação mais simples.

Devido o grande número de operadores para controlar não foram inclusos tempos da ordem de segundos apenas de minutos inteiros, de modo que ainda haveria como refinar a quantificação de horas paradas. Como o intuito do trabalho é um re-balanceamento mais rápido este refino teria um custo de mão de obra mais elevado fugindo do escopo inicial.

**Tabela 2 – Horas Paradas no dia 13/08/2009**

<b>Etapa</b>	<b>1º turno</b>	<b>2º turno</b>	<b>TOTAL*</b>
Dosagem e Setup de Prensas	70,74%	59,44%	<b>65,09%</b>
Prensagem dos TER	28,70%	37,04%	<b>32,87%</b>
Prensagem dos TER	33,89%	27,96%	<b>30,93%</b>
Inserção do TER na Espoleta	34,26%	40,93%	<b>37,59%</b>
Inserção de Buchas na Espoleta	34,44%	69,26%	<b>51,85%</b>
Inserção das Espoletas no Estojo Metálico	32,78%	71,30%	<b>52,04%</b>
Amolgadura das Espoletas	70,93%	77,78%	<b>74,35%</b>
Inserção de Corpo Plástico e Embalagem	53,15%	62,22%	<b>57,69%</b>
Área de Embalagens	38,52%	86,85%	<b>62,69%</b>
<b>Total**</b>	<b>44,16%</b>	<b>59,20%</b>	<b>51,68%</b>

\* calculado com base de 18h (2 turnos de 9h).

\*\* calculado com total de horas/máquina, 81h para turnos e 162h para TOTAL\*.

Passado o período de coleta de dados estes foram relacionados de modo que houvesse uma taxa de ocupação do tempo em cada um dos postos para que os gargalos pudessem ser identificados inicialmente. Os resultados estão apresentados nas tabelas abaixo apresentando as taxas de ocupação dos postos durante dois dias de trabalho, podendo ser observadas algumas discrepâncias entre os turnos. Estas discrepâncias ocorrem principalmente em função do modo como cada turno inicia suas operações e também em função da quantidade de colaboradores em cada um dos turnos de trabalho.

**Tabela 3 – Horas Paradas no dia 14/08/2009**

<b>Etapa</b>	<b>1º turno</b>	<b>2º turno</b>	<b>TOTAL*</b>
Dosagem e Setup de Prensas	73,33%	67,78%	<b>70,56%</b>
Prensagem dos TER	23,52%	39,26%	<b>31,39%</b>
Prensagem dos TER	27,96%	20,00%	<b>23,98%</b>
Inserção do TER na Espoleta	21,85%	60,56%	<b>41,20%</b>
Inserção de Buchas na Espoleta	27,96%	70,19%	<b>49,07%</b>
Inserção das Espoletas no Estojó Metálico	30,74%	74,81%	<b>52,78%</b>
Amolgadura das Espoletas	64,81%	82,59%	<b>73,70%</b>
Inserção de Corpo Plástico e Embalagem	67,22%	43,70%	<b>55,46%</b>
Área de Embalagens	64,81%	82,04%	<b>73,43%</b>
<b>Total**</b>	<b>44,69%</b>	<b>60,10%</b>	<b>52,40%</b>

\* calculado com base de 18h (2 turnos de 9h).

\*\* calculado com total de horas/máquina, 81h para turnos e 162h para TOTAL\*.

Um segundo trabalho de coleta de dados foi realizado com o objetivo de obter os tempos de produção de cada unidade no maquinário. Para este trabalho foram medidos os tempos necessários para produzir os lotes de peça em cada uma das máquinas do processo.

Tabela 4 – Tempos das Operações Envolvidas

Etapa	Tempo de produção por peça (s)	Peças/hora
Dosagem e Setup de Prensas	1,87	1923
Prensagem dos TER	16,90	213
Inserção do TER na Espoleta	7,63	471
Inserção de Buchas na Espoleta	6,94	519
Inserção das Espoletas no Estojó Metálico	6,61	545
Amolgadura das Espoletas	2,72	1324
Inserção de Corpo Plástico e Embalagem	3,59	1003

A seguir a figura mostra de uma maneira mais perceptível a discrepância entre os tempos requeridos para a execução de cada uma das etapas produtivas tornando a visualização mais natural até mesmo para o conceito de balanceamento.

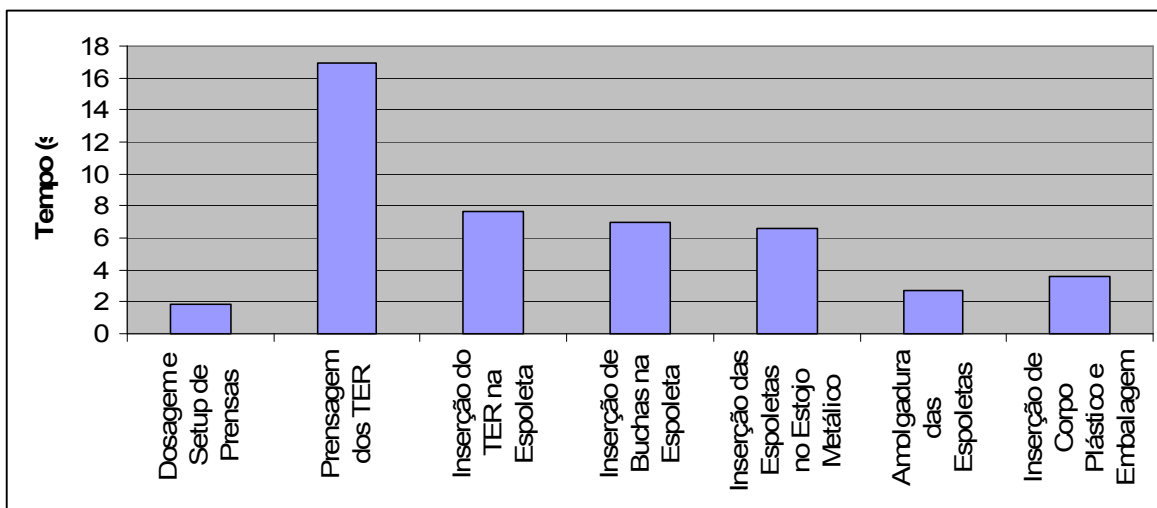


Figura 7 - Tempos de processamento em cada etapa produtiva

### 3 ANÁLISE DOS DADOS

Segundo todos os autores ao dimensionar uma linha de produção é fundamental conhecer a demanda de peças a serem produzidas, assim o histórico nos mostra que a produção tem uma demanda média de 60.000 peças por mês atingindo picos de 80.000 peças. Em função do número 80.000 peças será avaliado o processo produtivo de retardos para cordel no mercado hoje.

A partir da determinação da demanda é possível determinar o tempo de produção que atende o mercado. Esta unidade opera em um turno de 8 horas efetivas de trabalho assim considerando 20 dias produtivos em um mês, portanto, através da Equação 1 mostrada na fundamentação teórica deste trabalho, chegando ao número de 7,2 segundos por peça para atender o mercado.

Para efetivamente realizar o balanceamento de linhas são necessários os tempos de produção de cada peça, e de acordo com o processo são feitos lotes mínimos de 100 peças para a venda, assim os tempos referenciados serão mostrados para 100 peças e posteriormente para uma hora de produção, evidenciando assim pontos onde houver necessidade de mais equipamentos ou mão de obra. Lembrando que o tempo por peça de demanda no mercado é de 7,2 segundos por peça cada lote de 100 peças deverá ser produzido em 720 segundos para atender esta demanda.

**Tabela 5 – Tempo de produção por peça, precedência, capacidade e ordem de para ser o novo gargalo.**

	<b>Etapa</b>	<b>Tempo / Peça (s)</b>	<b>Peças/hora</b>	<b>Precedência</b>	<b>Ordem para se tornar Limitante</b>
1	Dosagem e Setup de Prensas	1,87	1923		7
2	Prensagem dos TER	16,90	213	1	1
3	Inserção do TER na Espoleta	7,64	471	1; 2	2
4	Inserção de Buchas na Espoleta	6,94	519	1; 2; 3	3
5	Inserção das Espoletas no Estojo Metálico	6,61	545	1; 2; 3; 4	4
6	Amolgadura das Espoletas	2,72	1324	1; 2; 3; 4; 5	6
7	Inserção de Corpo Plástico e Embalagem	3,59	1003	1; 2; 3; 4; 5; 6	5

Analisando os tempos podem ser observados os gargalos da produção que segundo um dos pontos da teoria das restrições supracitada diz que ao atacar um ponto que não seja o gargalo da produção não há aumento nesta produção, assim sendo a operação de prensagem dos TER faz-se o gargalo. Em função da capacidade de produção destas peças o processo estaria amarrado a uma produção de apenas 213 peças por hora.

Ainda pensando nos diferentes tipos de gargalo apresentados pela teoria das restrições a produção de TER aplica-se tanto como tipo 1 como tipo dois conforme pode ser observado na Figura 4 do caminho crítico do processo. Este gargalo é classificado como tipo 2 que esta operação depende da etapa não-gargalo antecedente, no caso a etapa de dosagem, e pode ser classificada como tipo 1 se observado as operações que dependem da prensagem onde o gargalo determina o fluxo das operações posteriores.

Utilizando a metodologia do tempo mais longo serão dimensionadas as estações de trabalho teóricas e mão de obra necessária para a produção destas peças como será explicado a seguir.

Para amenizar o gargalo da prensagem através da Equação 4 é possível obter o número mínimo de estações de trabalho ou neste caso equipamentos necessários para desenvolver esta operação, resultando em 2,3 estações de trabalho, em termos práticos esta estação foi replicada já que não é possível confeccionar 0,3 estações de trabalho.

Deve ser lembrado que este processo sofreu alteração em sua demanda recentemente e não estava preparado para receber uma carga de produção em um turno, conforme sua concepção origina justificando assim a não existência de mais uma estação de prensagem de TER.

Os números mínimos de estações teóricas foram calculados para as demais operações segundo a mesma equação e estes estão apresentados na Tabela 6, esta tabela ainda contempla o número hoje existente de estações de trabalho podendo gerar um comparativo para avaliar a estrutura disponível.

Tabela 6 – Relação das etapas produtivas e o número de estações de trabalho.

Etapa	Número mínimo teórico de estações de trabalho	Numero Real de Estações de Trabalho
Prensagem dos TER	2,35	2
Inserção do TER na Espoleta	1,06	1
Inserção de Buchas na Espoleta	0,96	1
Inserção das Espoletas no Estojo Metálico	0,92	1
Inserção de Corpo Plástico e Embalagem	0,50	1
Amolgadura das Espoletas	0,38	1
Dosagem e Setup de Prensas	0,26	1

Ao comparar os números teóricos e práticos pode se observar que a maior parte das estações atende a demanda de modo que não há grande necessidade de investimento em maquinário, exceto pelas etapas Prensagem do TER e Inserção do TER na espoleta.

O tempo de ciclo do processo pode ser definido ainda pela Equação 4 ao conhecer o número real de estações de trabalho, com isto pode ser observado quais os tempos de produção por peça em cada uma das estações de trabalho apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Cálculo do tempo de ciclo em função do número de estações de trabalho.

Etapa	Tempo da operação (s/peça)	Numero Real de Estações de Trabalho	Tempo de Ciclo Real (s)
Prensagem dos TER	16,90	2	<b>8,45</b>
Inserção do TER na Espoleta	7,64	1	7,64
Inserção de Buchas na Espoleta	6,94	1	6,94
Inserção das Espoletas no Estojo Metálico	6,61	1	6,61
Inserção de Corpo Plástico e Embalagem	3,59	1	3,59
Amolgadura das Espoletas	2,72	1	2,72
Dosagem e Setup de Prensas	1,87	1	1,87

De acordo com a Equação 3 a produção máxima estará sempre atrelada ao tempo de produção do gargalo de modo que este pode ser considerado o tempo de ciclo do processo. De acordo com o método empregado para este balanceamento que leva em conta o maior tempo para a realização do trabalho a decisão do gargalo pode ser comprovada através das combinações das Equações 2 e 3, que pode ser observada na dedução abaixo.

$$P = \frac{T_D}{TC} \quad \therefore \quad T_D = P \cdot TC$$

$$P = \frac{T_D}{T_G} \quad \therefore \quad T_D = P \cdot T_G$$

$$TC = T_G$$

Agora conhecendo o tempo de ciclo mínimo, ou tempo do gargalo, é possível avaliar se a utilização dos recursos está adequada à linha, ou seja, se não há subutilização de recursos de mão de obra ou se estes estão insuficientes devendo então sofrer um re-arranjo.

Como este processo produtivo opera com lotes mínimos de 100 peças assim é importante salientar que os tempos de ciclo começam a ter mais sentido se pensados em tempo necessário para produzir um lote de peças. Assim os tempos que foram calculados para produção de uma peça devem ser multiplicados pelo fator 100 para obtenção dos valores de produção para uma unidade passível de ser vendida.

Em função ainda do valor encontrado do tempo de ciclo é possível determinar a eficiência da mão de obra na operação dos postos de trabalho para a produção de um lote. Resgatando da Tabela 7 o tempo de ciclo mais longo para uma peça era de 8,45 s assim para 100 peças este tempo será de 845 segundos. Aplicando a Equação 5 para o cálculo da eficiência é gerada a tabela a seguir.



Tabela 8 – Cálculo da eficiência em cada estação de trabalho.

Etapa	Numero Real de Estações de Trabalho	Tempo de mão de obra para produzir 100 peças (s)	Eficiência
Prensagem dos TER	2	1690,14	100%
Inserção do TER na Espoleta	1	764,33	90%
Inserção de Buchas na Espoleta	1	693,64	82%
Inserção das Espoletas no Estojo Metálico	1	660,55	78%
Inserção de Corpo Plástico e Embalagem	1	358,92	42%
Amolgadura das Espoletas	1	271,90	32%
Dosagem e Setup de Prensas	1	187,21	22%

Ao considerar a eficiência a utilização do posto de trabalho por um operador pode-se entender como o tempo efetivamente utilizado para produzir as peças, de modo que é possível determinar o número mínimo teórico de operadores necessários para desenvolver a produção desejada. Esta dedução pode ser feita através da idéia lançada pela teoria das restrições que afirma que ao ganhar eficiência ou gerar estoques em etapas não-gargalo não há geração de produtos com um valor agregado e sim apenas trabalho desperdiçado gerando aumento no custo do processamento.

Matematicamente pode-se obter um resultado para o número de operadores ao multiplicar a eficiência de cada uma das estações pelo número de estações de trabalho disponíveis para a etapa de produção correspondente, resultando no valor teórico de operadores necessários para atingir a produção em função do gargalo. Pode ser observado que a etapa gargalo sempre deverá ter 100% de ocupação, o que é mostrado como sendo um dos pilares da teoria das restrições, pois se o gargalo parar as etapas subseqüentes também pararão. Os valores assim calculados podem ser observados na Tabela 9.

Tabela 9 – Cálculo da mão de obra necessária em cada estação de trabalho.

Etapa	Numero Real de Estações de Trabalho	Eficiência	Mão de Obra Necessária (HH)
Prensagem dos TER	2	100%	2,00
Inserção do TER na Espoleta	1	90%	0,90
Inserção de Buchas na Espoleta	1	82%	0,82
Inserção das Espoletas no Estojo Metálico	1	78%	0,78
Inserção de Corpo Plástico e Embalagem	1	42%	0,42
Amolgadura das Espoletas	1	32%	0,32
Dosagem e Setup de Prensas	1	22%	0,22
<b>Total</b>			<b>5,48</b>

Analisando os valores encontrados na Tabela 9, pode ser observado que há estações onde não há necessidade de uma pessoa dedicada 100% do tempo, assim estas estações muitas vezes podem ser comandadas por um mesmo operador mantendo os recursos com uma melhor utilização. Estes fatos podem ser observados melhor na figura abaixo.

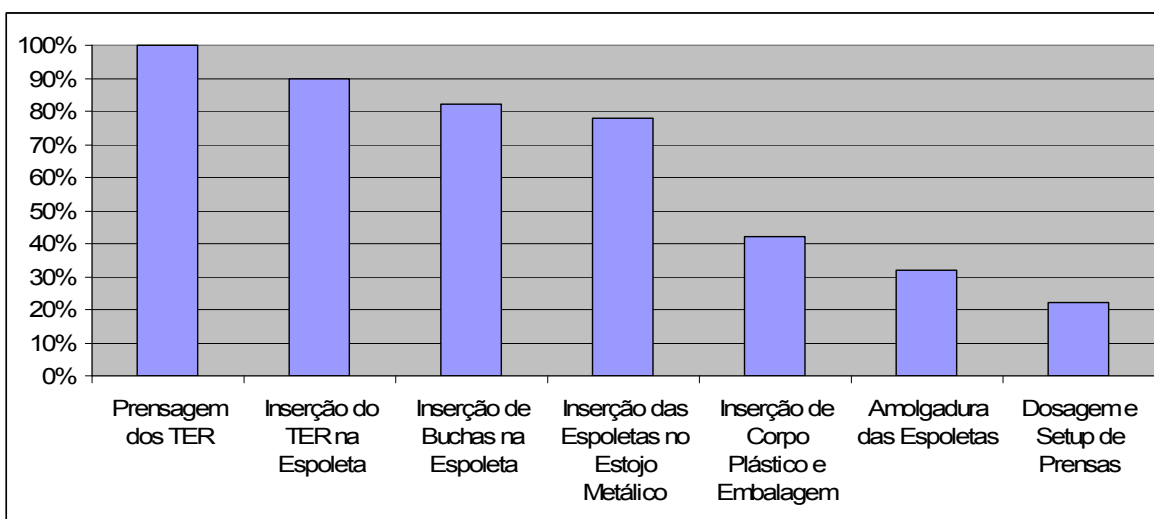


Figura 8 – Taxa de Ocupação das Máquinas em Cada Operação.

Como pode ser observado há necessidade de 5,48 pessoas, e como ainda não foi atingido o valor de demanda necessário este número foi arredondado para 6 pessoas garantindo que o gargalo funcione pelo máximo de tempo possível.

Há necessidade de se recordar que o número de operadores está balanceado apenas para as operações produtivas, ou seja, as operações mantentoras do ambiente de trabalho (leia-se organização e limpeza), não estão contempladas aqui neste balanceamento o que acaba por justificar a manutenção de uma sexta pessoa.

Além de determinar o número de operadores o balanceamento deve contemplar como serão divididas as tarefas como foi visto no projeto de Layout de Produtos. Para atribuir as tarefas em cada uma das estações, é necessário que a soma das tarefas não ultrapasse o tempo de ciclo assim com os seis operadores teóricos a divisão poderia ser feita da maneira como apresentada na tabela abaixo.

**Tabela 10 – Ocupação dos colaboradores em cada uma das estações de trabalho.**

<b>Estação de Trabalho</b>	<b>Ocupação do Operador</b>
Prensagem dos TER	100%
Prensagem dos TER	100%
Inserção do TER na Espoleta	90%
Inserção de Buchas na Espoleta	82%
Inserção das Espoletas no Estojo Metálico	78%
Dosagem e Setup de Prensas + Amolgadura das Espoletas + Inserção de Corpo Plástico e Embalagem	96%

É imprescindível analisar que deve ocorrer o revezamento entre os postos de trabalho para que a saúde dos colaboradores seja preservada, por este motivo muitas vezes taxas de ocupação de 100% são em um caráter teórico, mas a título de estudo estas distribuições fornecem um bom meio para montar as estações que compõe a linha de montagem. Como foi observado anteriormente no caso deste produto há uma dificuldade maior em trabalhar nos layouts em função do perigo dos materiais envolvidos nas operações.

Um outro conceito que deve ser evidenciado no balanceamento de linhas é a tentativa de equalização na distribuição entre as tarefas realizadas. Como pode ser observado na figura a seguir um balanceamento em caráter pratico dificilmente acabará com as ociosidades de processo. E se o intuito for aumentar a eficiência do processo diminuindo um colaborador está ainda reverterá em um custo adicional pelo uso de horas extras na produção encarecendo assim o custo produtivo.

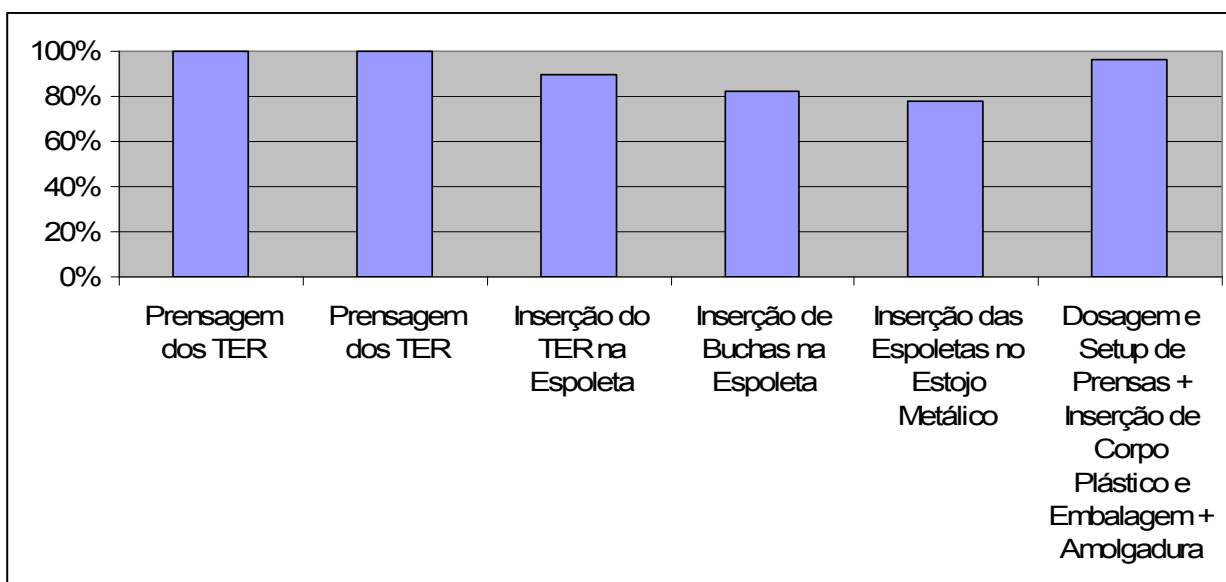


Figura 9 – Gráfico da ocupação do operador em cada uma das estações de trabalho.

Preferencialmente na Figura 9 as barras deveriam estar todas do mesmo tamanho com este mesmo número de operadores, confirmando o que foi supracitado a respeito das divisões de tarefa de um balanceamento de linhas mais próximo ao teórico.

Durante a época em que foram levantados tais dados a quantidade de operadores disponíveis era de sete colaboradores no primeiro turno e quatro colaboradores no segundo turno o que mostra preliminarmente que havia subutilização da mão de obra disponível no primeiro turno.

Com o valor encontrado de tempo de ciclo considerando as 8 horas diárias efetivamente trabalhadas pelos colaboradores há um tempo disponível de 28800 segundos, assim através da Equação 3 foi obtido um número máximo de 3408 peças produzidas por dia ou no caso turno de produção efetivo. Ao multiplicar a

produção diária pelos 20 dias de produção de um mês (valor considerado para efeitos de cálculo) rende uma produção de 68160 peças, faltando aproximadamente 12000 peças para atender a demanda.

Para determinar qual a alternativa mais viável de produzir estas peças deve ser levado em consideração as horas necessárias para esta produção, para isto devem ser utilizadas novamente as relações de produção e tempo apresentadas na Equação 1.

Ao recalcular a quantidades da mão de obra necessárias para produção das 12000 peças são necessárias 169 horas homem, ou seja, um operador adicional para que seja possível realizar o incremento desta produção operando no segundo turno, ou ainda trabalhar com horas extras para obter este aumento produtivo.

Por questões de segurança no trabalho um único operador não deve permanecer só em um setor assim se for instalado um segundo turno deve ocorrer a contratação de uma segunda pessoa, ou transferência de um turno para o outro conforme a disponibilidade da empresa e conforme os custos permitirem.

Ao realizar estes cálculos é observado que a manutenção de um segundo turno é menos viável do que o aumento de produção via horas extras, assim o melhor modo de produzir é programando a produção em finais de semana, no caso sábados, ou através da extensão do turno de trabalho em aproximadamente uma hora e meia todos os dias.

A solução adotada com o passar do tempo para resolver os problemas da quantidade de mão de obra foi feita inicialmente transferindo os colaboradores do turno noturno para um setor que necessitava desta mão de obra, e a redução do quadro do setor em uma pessoa durante o dia. Assim o setor passou a operar com 6 pessoas no primeiro turno adequando ao que foi observado no balanceamento das peças na linha conforme foi apresentado na análise dos dados apresentada acima.

## 4 CONCLUSÃO

Através da confecção deste trabalho acadêmico pode-se observar que a teoria de balanceamento de linhas está bem desenvolvida, buscando sempre a otimização da utilização dos recursos disponíveis em termos de maquinários e mão de obra.

Uma das deficiências do método empregado muitas vezes é a falta de quantificação para levar a ergonomia envolvida assim além do desenvolvimento do ponto de vista produtivo é importante levantar as questões da saúde ocupacional, às vezes exigindo mudanças no layout projetado conforme o referencial teórico apresentado neste trabalho corrobora.

Apesar de não terem sido desenvolvidos cálculos financeiros pode ser observado que muitas vezes a falta de análise das linhas pode levar um aumento do custo produtivo pela má utilização dos recursos. A inserção de um novo turno de produção mesmo sem análise financeira gera um custo maior se visto que há necessidade de pagamentos como adicional noturno e ainda pode-se pensar de um modo direto que um número maior de colaboradores implica em um custo maior.

Por fim foi mostrado que o método heurístico aplicado em pequenas linhas de produção, ou linhas mais simples, é um dispositivo eficiente para a tomada de decisões rápidas a respeito da gestão das operações. Em linhas maiores há necessidade de uso de métodos mais refinados a fim de obter um melhor resultado global, incluindo mais dados nos cálculos e análises cada vez mais refinadas, o que é um dos pilares da Teoria das Restrições afirmando que os ótimos locais não necessariamente levarão ao ótimo global.

## 5 REFERÊNCIAS

ASSIS, R. **Balanceamento de uma Linha de Produção**. Disponível em <<http://www.rassis.com>> Acesso em: 15 de outubro de 2009.

BLACK, J. T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. 1ª Edição Porto Alegre, Bookman, 1998.

FALKENAUER, E. **Line Balancing in the Real World**. Disponível em <<http://optimaldesign.com/Download/OptiLine/FalkenauerPLM05.pdf>> Acesso em: 04 de dezembro de 2009.

FERNANDES, F.C.F., DALALIO, A.G. **Balanceamento e rebalanceamento de linhas de montagem operadas por grupos de trabalho autogerenciados**. In Revista Gestão & Produção, V.7, n.3. p. 378-398, UFSCAR, dezembro 2000.

REID, R. D.; SANDERS, N. R. **Gestão de Operações**. 1ª Edição, Rio de Janeiro, LTC, 2005.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações**. 1ª Edição, São Paulo, Prentice Hall, 2004.

ROCHA, D.R. **Balanceamento de Linha – Um Enfoque Simplificado**. Disponível em: <<http://www.fa7.edu.br/rea7/artigos/volume2/artigos/read3.doc>> Acesso em: 11 de novembro de 2009.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção: do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. 1ª Edição, Porto Alegre, Bookman 1996.

TOGAWA, E.T., DINIZ DE PAULA, J.V., ÁLVARES, A.J. **Sistema Para Balanceamento de Linhas de Montagem Baseado no Método COMSOAL**. Cobem 2001, Uberlândia, Brasil.

TUBINO, Dalvio F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. 1<sup>a</sup> Edição, São Paulo, Atlas, 1997.



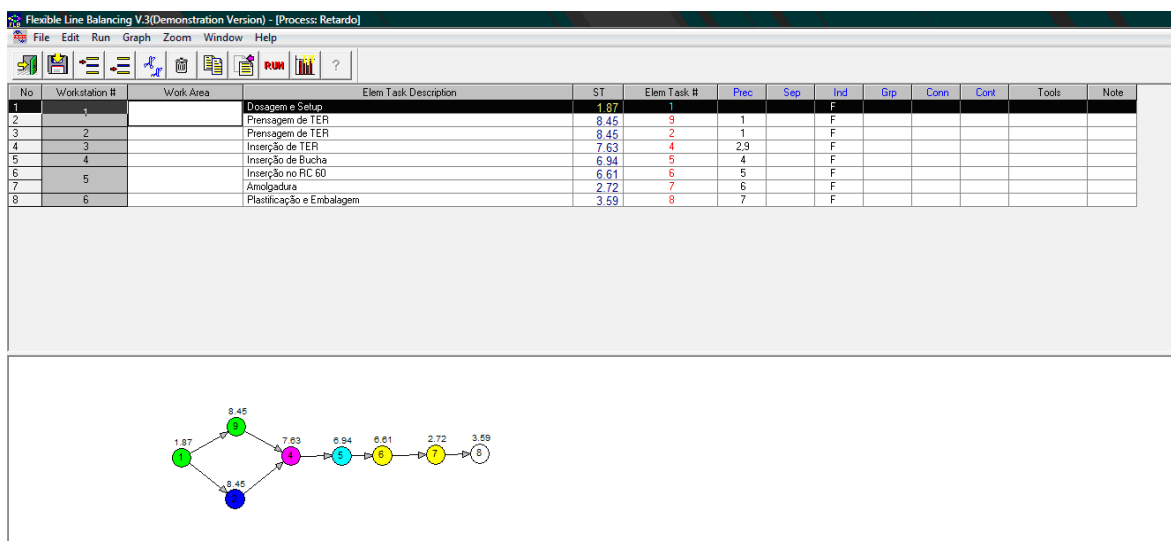
## Anexos

O estudo de caso foi escolhido em função da necessidade de análise e ainda por sua simplicidade que permite a compreensão do método de balanceamento de linhas. Para complementar os estudos realizados foi feita uma simulação utilizando o método COMSOAL, o algoritmo estava implementado no programa *Flexible Line Balancing*<sup>TM</sup>.

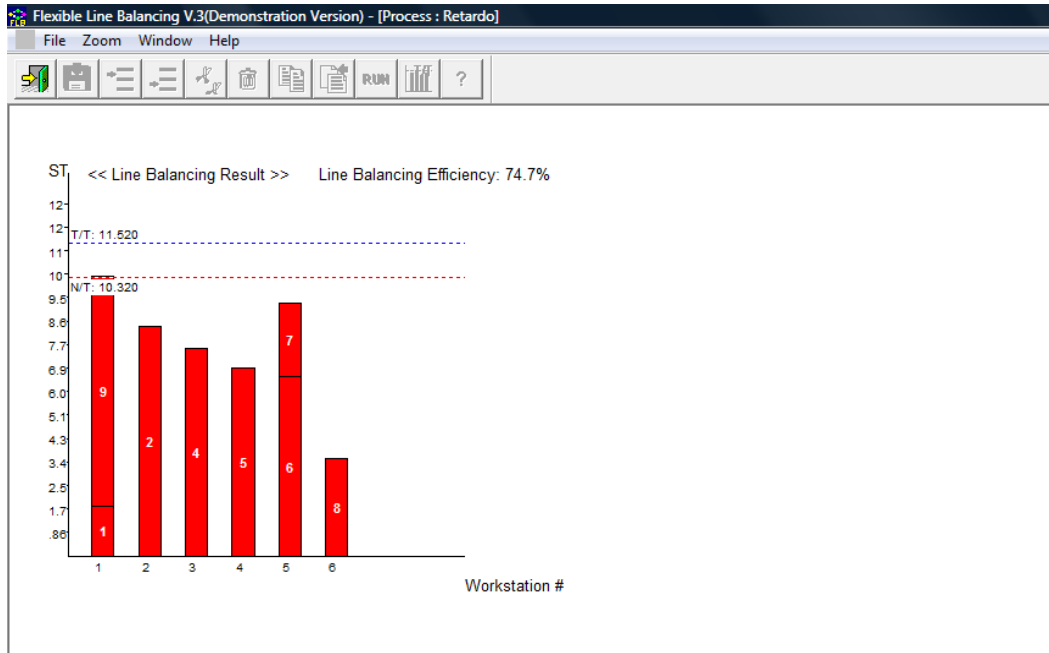
Como citado no tópico 1.4 Metodologias de balanceamento este método simula diversos cenários e mantém os melhores resultados. O algoritmo do *Flexible Line Balancing*<sup>TM</sup> pode ser utilizado de dois modos um onde a produção é maximizada, o que acaba por admitir ineficiências em postos de trabalho para o aumento da capacidade ou pode ser utilizado para maximizar a produtividade otimizando o uso da mão de obra.

Para alimentar o programa é montado um diagrama de precedências definindo o caminho crítico do processo idêntico à Figura 4, com estes dados é possível identificar os gargalos do processo e onde devem ser concentrados os esforços quando os dados de tempos de ciclo estão inseridos.

A seguir encontram-se as telas de alimentação do programa e seu resultado.



Tela de Alimentação dos Dados



Resultados obtidos com a simulação