

**ESCOLA POLITÉCNICA DA USP  
DEPTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Renato Dias de Carvalho**

**Métodos de Manufatura enxuta para sistemas produtivos  
com demanda mensal desbalanceada**

**São Paulo  
2006**

**ESCOLA POLITÉCNICA DA USP  
DEPTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Renato Dias de Carvalho**

**Métodos de Manufatura enxuta para sistemas produtivos  
com demanda mensal desbalanceada**

Trabalho de conclusão do curso de  
graduação do Departamento de  
Engenharia Mecânica da Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo.

Orientador: Prof. Gilberto F. M. Souza  
Prof. Adherbal Caminada

**São Paulo  
2006**

## RESUMO

Atualmente, muitas empresas estão partindo para a implementação da filosofia do Lean Manufacturing (traduzida para o português como Manufatura Enxuta), devido à procura infundável e necessária pela redução de custos e pela total incorporação do ideal de eficiência: “fazer cada vez mais com cada vez menos”. Em toda a cadeia produtiva, desde a compra até a entrega, a implementação da manufatura enxuta, hoje, é de extrema vantagem no mercado. A redução de tempo, tarefas, processos improdutivos, retrabalhos e etc, contribuem para o funcionamento saudável visando o menor custo e maior satisfação do cliente. Este trabalho visa agregar à literatura do assunto novas técnicas para um conceito particularmente muito comum no Brasil e América Latina que, ao contrário da teoria tradicional, há muitos casos em que a demanda é muito desbalanceada, ou seja, a demanda não é igualmente distribuída ao longo do mês, mas sim muito concentrada no final de mês. Um modelo diferenciado foi desenvolvido para este cenário, uma nova técnica denominada “Produzir o mínimo”, que tem por propósito reduzir estoques e manter um bom nível de serviço. Novas aplicações tomam espaço com as oportunidades neste ambiente e um exemplo de otimização da capacidade fecha o trabalho.

## ABSTRACT

Nowadays, many companies are willing to implement the Lean Manufacturing philosophy in their operations due to the eternal and necessary seek for cost reductions and incorporation of the meaning of efficiency: “Making more with less”. It is extremely important to reduce time spent, unneeded tasks, inefficient process, reworks, etc. It brings the advantage of severe cost reductions and increasing customer’s satisfaction. This report was generated to bring new techniques in a concept particularly very common in Brazil and Latin America: the unbalanced demand. Different than the traditional theory, the demand is not equally distributed in a week basis, but it is very concentrated in the last one. The technique “Produce to minimum” was developed to model this kind of scenario, reducing inventory levels with good service level. New applications takes place and a capacity optimization is shown in the last chapter.

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Carvalho, Renato Dias de**

**Métodos de Manufatura enxuta para sistemas produtivos com demanda mensal desbalanceada / R.D. Carvalho -- São Paulo, 2006.**

**50 p.**

**Trabalho de conclusão de curso - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica**

**1. Manufatura enxuta 2.Demanda desbalanceada  
3. Otimização da capacidade 4. Lean Manufacturing 5. Produzir o mínimo II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>2. INTRODUÇÃO AOS CONCEITOS DE MANUFATURA ENXUTA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. DESCRIÇÃO DO CENÁRIO COM DEMANDA DESBALANCEADA .....</b>	<b>7</b>
<b>4. TRABALHANDO O PERFIL DE DEMANDA .....</b>	<b>10</b>
<b>5. PRODUZIR O MÍNIMO .....</b>	<b>13</b>
<b>6. OTIMIZAÇÃO DA CAPACIDADE.....</b>	<b>31</b>
<b>7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>

## ***1. Introdução e motivação***

Atualmente, muitas empresas estão partindo para a implementação da filosofia do Lean Manufacturing (traduzida para o português como Manufatura Enxuta), devido à procura infundável e necessária pela redução de custos e pela total incorporação do ideal de eficiência: “fazer cada vez mais com cada vez menos”.

Em toda a cadeia produtiva, desde a compra até a entrega, a implementação da manufatura enxuta, hoje, é de extrema vantagem no mercado. A redução de tempo, tarefas, processos improdutivo e etc, contribuem para o funcionamento saudável visando o menor custo e maior satisfação do cliente.

A produção necessita de modelos eficientes que guiem a entrega do produto acabado com mente na eficiência global e controle dos parâmetros que regem os custos reais do sistema. Hoje, o enfoque está no cliente e tem-se que atingir nível de serviço elevadíssimo. A idéia é que se evite perdas no planejamento e execução, buscando a maximização da utilização dos recursos e minimização dos desperdícios.

Este trabalho visa agregar à literatura do assunto uma nova técnica para um conceito particularmente muito comum no Brasil e países em desenvolvimento que, ao contrário da teoria tradicional, há muitos casos em que a demanda é muito desbalanceada, ou seja, a demanda não é igualmente distribuída ao longo do mês, mas sim concentrada no final de mês. Isto influencia muito no modelo de sistema produtivo adotado e novas aplicações podem tomar espaço com as oportunidades neste ambiente.

## **2. *Introdução aos conceitos de manufatura enxuta***

Para o desenvolvimento do trabalho, foi necessária a pesquisa aprofundada dos conceitos de manufatura enxuta, no qual a compreensão é fundamental para que se possa desenvolver os projetos que habilitem o sistema produtivo para operar verdadeiramente enxuto. Muitas vezes, estes conceitos são contra-intuitivos e a reflexão se torna duvidosa, mas os exemplos das empresas que ultrapassaram este túnel mostram que é um caminho estreito e difícil, porém que as leva a um melhor nível de operação, na qual a visão é estabelecer o fluxo de produção, eliminando retrabalhos, reprocessos e todos os desperdícios são perseguidos até a extinção, reduzindo os custos e satisfazendo as necessidades dos clientes.

O processo de produção em massa atual possui variados tipos de desperdício que elevam o custo e não geram valor para o cliente final. Dentre eles, temos os estoques, filas e tempo de espera entre tarefas, movimentos desnecessários, excesso de produção e produtos defeituosos. Todos eles são geradores de custos que devem ser evitados para o sucesso da revolução que a manufatura enxuta oferece.

Os benefícios são muitos: a redução dos prazos de entrega, qualidade superior, menores custos, novo entusiasmo de trabalhar, integração das equipes, além de menores tempos de desenvolvimento de produto e tudo isto implicando em maior competitividade para a companhia.

Neste capítulo, teremos um breve resumo destes conceitos definidos por Womack; Jones (2004) para que se entenda bem o contexto no qual o trabalho está inserido.

### **2.1. Definição do valor**

O ponto de partida para o pensamento enxuto é o valor. O valor só pode ser definido pelo consumidor final e é só significativo quando é expresso em termos de um produto específico (um bem ou um serviço, na maioria dos casos, ambos), que atenda as necessidades do cliente a um preço específico e em um momento específico.

O diálogo com o cliente, neste ponto, é fundamental para que seja determinado com clareza o conceito de valor. É preciso ignorar os ativos e as tecnologias existentes e repensar as empresas com base em uma linha de produtos com equipes dedicadas, isto requer uma redefinição nas funções e carreiras na empresa, voltada para as atividades que geram valor, e também onde e quando se deve gerar valor.

### **2.2. Fluxo de valor**

O fluxo de valor é o conjunto de todas as atividades específicas necessárias da vida de um produto. A criação (desenvolvimento), projeto, transformação física e suprimento do produto. Isto deve ser feito para cada produto ou família de produtos, e este passo definitivamente exporá enorme e surpreendente quantidade de desperdício.

Reverendo os processos, três tipos de etapas do processo virão a tona:

*i) Etapas que criam valor e que são vitais para a criação do valor: Como exemplos temos, o corte, solda, transporte do produto até o cliente, etc.*

*ii) Etapas que não geram valor, mas que não podem ser eliminados imediatamente:*

São as etapas dependentes de tecnologias e ativos de produção dos quais a empresa depende para manter a qualidade dos produtos. São chamados desperdícios tipo um.

*iii) Etapas que não geram valor e podem ser eliminadas rapidamente:* Como atividades que são repetidas por duas etapas diferentes, reprocessos, estoques, espera, movimentação e todos os desperdícios que podem ser diretamente eliminados. Estes desperdícios são chamados tipo dois.

### **2.3. Fluxo contínuo**

O fluxo contínuo é o efeito de fazer o valor fluir dentro do sistema. Deve-se dar aos processos a fluidez necessária para reduzir os tempos de concepção, processamento de pedidos e estoques e distribuição, transformando rapidamente os desejos do cliente em produtos atuais.

### **2.4. Puxar**

Os itens anteriores habilitam um sistema produtivo diferenciado, a produção puxada. As empresas não devem empurrar os produtos desejando que os clientes queiram comprar o que vendem. As vendas não funcionam assim. Além disso, nota-se que produção empurrada se baseia em previsão de demanda, as quais sempre estão erradas. A denominação puxada intui que os clientes são os elementos movimentadores do sistema, e a partir de seus pedidos, a cadeia é ativada e reage,

produzindo somente o necessário, evitando estoques, retrabalhos e obsolescência de produtos.

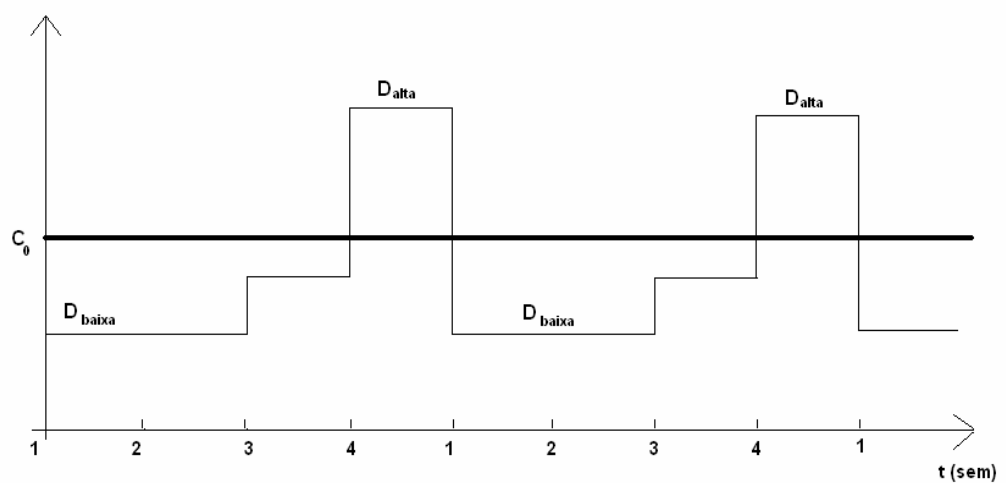
### ***2.5. Perfeição***

A melhoria é constante, não existe melhoria finita no campo da manufatura enxuta. A busca pelo aperfeiçoamento contínuo em direção a um estado ideal deve nortear os esforços da empresa, fornecedores, distribuidores e revendedores para otimizar a cadeia como um todo, buscando melhores formas de criar valor.

Mudar a forma de pensamento instaurada nas empresas não é tarefa fácil, envolve o conhecimento dos conceitos e métodos enxutos implementados por uma liderança forte e determinada a dar um passo para trás para depois dar início a dar passos à frente.

### 3. Descrição do cenário com demanda desbalanceada

Descreveremos neste capítulo, as condições em que este trabalho esta inserido. No caso de alguns mercados, a demanda pode ter a característica rotineira de ser totalmente desbalanceada ao longo do mês, isto é, em todos os meses do ano, verificamos uma distribuição da demanda da seguinte forma:



**Figura 3.1 – Demanda nas semanas do mês**

Em duas semanas, a demanda é muito baixa, e à medida que avançamos para o fim do mês, a demanda concentra sua maior parcela no espaço de uma semana, a ultima do mês.

Para dar uma melhor idéia de companhias que atuam num cenário como explicitado, veja a tabela 2.1, na qual se encontra a distribuição média mensal para o caso do mercado de detergente em pó brasileiro:

**Tab. 3.1 – Distribuição da demanda para mercado de detergente em pó.**

<b>Semana</b>	<b>% da demanda do mês</b>
1º semana	12%
2º semana	18%
3º semana	25%
4º semana	45%

O fenômeno é atribuído à cultura de recebimento de salários no início do mês, quando o consumidor tem o dinheiro em mãos e faz suas compras do mês. Influência do passado inflacionário da economia brasileira em que era preciso gastar o salário antes que este perdesse valor.

Outro fator que influencia a curva de demanda é o processo que as empresas adotam de política de metas para vendas. Isto faz com que os times de vendas que não tenham atingido as metas do mês dêem descontos para os clientes na última hora. Mais ainda, os clientes mais espertos tomam vantagem desta situação e esperam o fim de mês para colocar os pedidos, pois saberão que terão descontos de preço.

Certamente isto causa diferenças de operação logística com relação a sistemas produtivos com demanda balanceada ao longo do mês.

A demanda muito concentrada na última semana do mês excedendo a capacidade instalada faz com que se tenha de construir estoque de antecipação para o atendimento dos clientes sem perda em nível de serviço. Ou seja, tem-se investimento em estoques para suprir falta de capacidade na última semana e capacidade ociosa nas primeiras semanas gerando custos pela falta de otimização.

Note que o estoque é o parâmetro de sincronia entre a relação capacidade e demanda, que estão desbalanceadas. Seu controle geralmente não é feito com excelência, podendo gerar estoques altíssimos e serviço pobre. Este é um dos desperdícios tipo 2, que citamos no capítulo anterior quando descrevemos o conceito de fluxo de valor.

Podemos reduzir estoques trabalhando com estas duas variáveis:

- a demanda (veremos o desenvolvimento no capítulo 4) ou,
- as operações (veremos o desenvolvimento no capítulo 5).

Já se pode adiantar que o caminho mais promissor é trabalhar com as operações, alterando suas características de acordo com a variação de demanda. Contudo, algumas idéias discutidas no capítulo a seguir podem trazer grandes benefícios para o sistema produtivo.

#### **4. *Trabalhando o perfil de demanda***

No final do século XX, presenciamos uma revolução com a chegada da era da informação. Cada vez mais iteratividade entre as pessoas, distâncias fazendo menos diferença, muita facilidade na obtenção e tratamento de informação. Apesar disto, algumas empresas ainda vivem no mundo departamentalizado, em que uma área desconhece o fluxo de trabalho em outras resultando em muito retrabalho e perda de oportunidades importantes.

A integração entre áreas é de fundamental importância para o estabelecimento do fluxo de valor na companhia. Não haverá implementação da manufatura enxuta sem intercomunicação entre áreas/ departamentos.

O primeiro passo é o agendamento de visitas e sessões de problem solving (solução de problemas) entre áreas. Com certeza, se notará imediatamente, oportunidades que estavam escondidas na escuridão da falta de comunicação junto a frases do tipo:

“Nossa! Não sabia que isto funcionava desta forma!”.

Também, muito vantajosa é a criação de um time de manufatura enxuta da empresa. Contendo integrantes das variadas áreas, tem por finalidade gerar e dar acompanhamento a projetos que visem o estabelecimento da manufatura enxuta no processo como um todo.

Em longo prazo, é interessante existir na política de carreiras da empresa, a rotatividade de funções para que exista intercambio de idéias e ampliação da integração.

Nas grandes empresas, a demanda é caracterizada pelo tipo de operações que os times de venda conduzem com os clientes, como política de descontos, visitas, interface, etc. A demanda é o elemento propulsor do sistema, aquilo que faz a cadeia se movimentar, e isto causa efeito em todos os níveis da empresa relacionados.

Tomemos um exemplo de soluções em conjunto com o exemplo da gestão dos times de venda a seguir que nos possibilita trabalharmos com a conformação da demanda.

#### **4.1. *Trabalhando com os times de venda***

Se o departamento de vendas não tiver conhecimento da realidade de fábrica e logística de produto final, perdemos oportunidades de reduzir o custo do produto. Os descontos de fim de mês funcionam bem para o departamento de vendas, pois estimulam as vendas e as metas de vendas são atingidas, contudo, as áreas da cadeia de suprimentos acabam ficando prejudicadas.

A integração da gestão de vendas e com a gestão de operações e logística é fundamental, sob a idéia de olhar o processo como um todo, através de uma visão sistêmica, visando não otimizar uma parcela ou outra, mas sim otimizar o todo. O departamento de vendas deve ter noção de capacidade do sistema, para que busquem metas ótimas globalmente.

Existe uma dificuldade muito grande de estimular o consumidor final de mudar a cultura de fazer compras no início de mês, porém, podemos certamente

modificar o perfil de demanda se trabalharmos com os times de vendas para que revejam a política citada no capítulo anterior, fazendo com que os descontos de última hora deixem de existir.

Podem-se transferir estes descontos para os períodos de baixa demanda do mês, reduzindo o desbalanço existente e aliviando a pressão na cadeia produtiva.

Com isso, os clientes (supermercados, varejistas, etc) deixam de esperar o fim do mês para fazer os pedidos, pois saberão que não terão mais descontos de última hora para fechar as metas do mês dos vendedores e, mais além, faz com que os clientes sejam estimulados a comprar fora do período de alta demanda, aliviando as operações.

Um bom gerenciamento de vendas integrado com a cadeia logística / produtiva, atento para as características particulares de seus clientes / consumidores, trará uma melhor configuração de demanda, o que acarreta em melhor serviço, pois existe menor risco da cadeia faltar com os produtos, custos logísticos mais baixos, pois é necessária menor capacidade nos diferentes níveis e estoques menores.

## **5. *Produzir o Mínimo***

### **5.1. *Introdução***

Um fato que decorre de um sistema de produção com este perfil de demanda, assim como a grande maioria dos sistemas produtivos, é que a previsão de demanda não é um dado muito confiável. Segundo Womack; Jones (2004), a única coisa certa sobre previsão de demanda é que esta vai estar errada.

É uma tarefa muito complicada prever bem comportamentos de mercado. Os profissionais desta área são medidos não se acertaram ou erraram, mas sim, pelo quanto erraram na previsão. Este fato acarreta em altíssimos níveis de estoques e esta técnica mostra que se podem obter estoques menores com melhores níveis de serviço.

Dado o cenário descrito no capítulo 3, foi desenvolvida esta técnica para trabalhar com cenários de desbalanço de demanda, e reduzir os efeitos dos erro de previsão.

### **5.2. *Conceito***

Como a previsão de demanda é incerta, é comum manter estoques enormes para suportar demandas que excedem o previsto e sobram estoques quando a demanda é menor do que a prevista. Ou seja, é um “mal” inevitável para empresas comuns de produção em massa.

Contudo, pensando diferentemente, existe um jeito de se esquivar deste efeito. A alternativa é postergar a tomada de decisão quanto à manufatura. Ou seja,

criar flexibilidade para a produção/entrega na última hora, possibilitando que se produza somente quando as ordens dos clientes entrarem e não mais para uma previsão incerta.

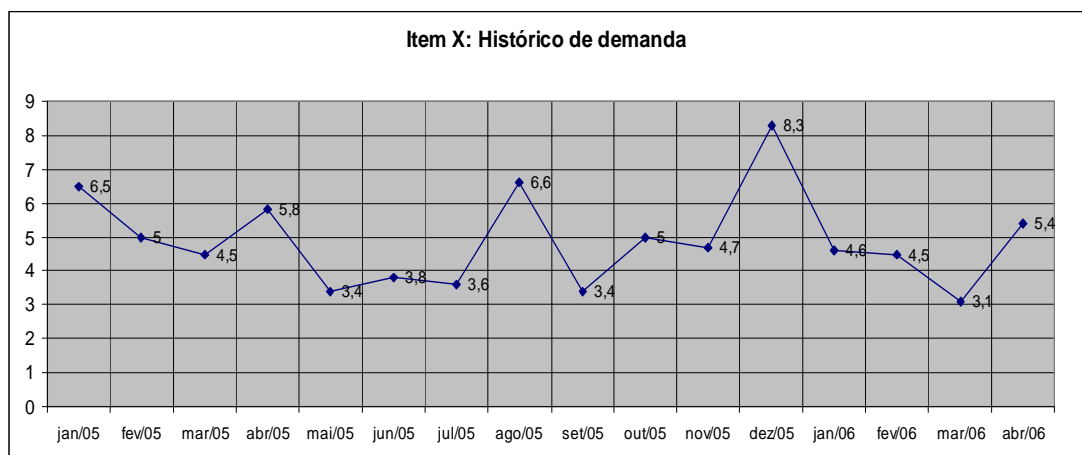
Estudando-se o exemplo dos japoneses da Toyota nota-se que a quebra destes paradigmas possibilitaram a redução drástica de estoques e custos de produção e grande melhoria de qualidade.

Pensando-se em tardar ao máximo a tomada de decisão para produzir os itens que a empresa possui, e considerando que técnicas usuais de manufatura enxuta podem não ser adequadas ao cenário de grande desbalanço de demanda neste mercado, em que é necessário antecipar estoques pois a demanda excede a capacidade num curto período do mês, foi desenvolvida uma técnica para a programação de produção e compras de matérias-primas que pode trazer grandes reduções de estoques com um princípio muito simples. Esta técnica que explicaremos a seguir chama-se: produzir o mínimo.

O estudo foi originalmente feito para melhoria da programação de itens do mercado de detergente em pó do Brasil. Como os resultados obtidos foram excelentes, expandiu-se a idéia para outros sistemas.

O primeiro passo para poder seguir rumo ao objetivo foi estudar a demanda item a item para ter um bom conhecimento do cenário e oportunidades. Descobriu-se um comportamento que era comum à maioria dos itens.

Veja o gráfico a seguir com o histórico de demanda para um item hipotético:



**Fig. 5.1: Exemplo de histórico de demanda para um item regular genérico**

Imagine que estamos no começo de abril de 2006. Você é o planejador de produção e acaba de receber a previsão de demanda para este item neste mês. Esta está descrita na figura 5.1, no último ponto(valor = 5,4).

Note que a demanda nunca fica abaixo de 3,1/mês. Defini-se esta quantia como o mínimo de demanda. Esta é a parcela que sempre foi vendida para os clientes, ou seja, é grande a probabilidade de que este comportamento se mantenha e isto seja um piso para a demanda no mês.

Note que esta é uma análise que envolve bom senso, não se toma um número em que não se acredite. Pode ser que com mais informações, saibamos que a demanda do mês será maior do que 3,1 por exemplo, no caso de uma promoção do item, ou menor, no caso de promoção de um item concorrente.

Sendo assim, temos a possibilidade de antecipar somente os estoques que suportarão a demanda certa. O restante da demanda, ou seja, a parte variável dela

(5,4-3,1=2,3), pode ser produzida de última hora, de acordo com os pedidos que vão entrando. Seja definido:

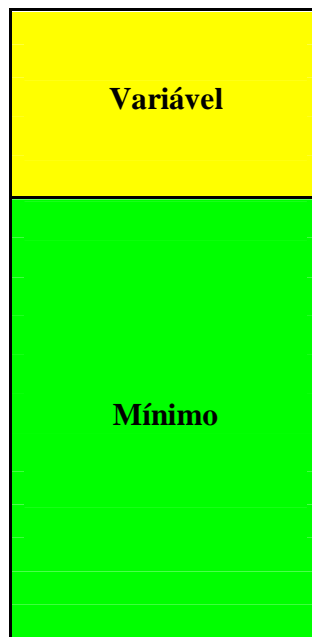
d: Demanda do mês para o item;

m: Mínimo do mês para o item;

Pode-se definir o variável como sendo:

$$v = d - m$$

Então, para facilitar o entendimento do leitor, o gráfico a seguir mostra que a previsão recebida pode ser dividida em duas parcelas:



**Fig 5.2 – Componentes da previsão de demanda**

Se tomarmos um mês padrão com 4 semanas, neste exemplo, poder-se-ia construir o estoque de antecipação no valor da quantidade mínima até a semana 3. E a

partir da semana 4, as previsões teriam apenas uma semana de horizonte, sendo mais acuradas. Portanto, a produção somente entrega o excedente do mínimo (variável) nesta semana, sem a construção de estoques desnecessários.

Resumidamente, o volume de demanda pode se confirmar das seguintes formas:

*i.*  $d \geq 3,1$  (demanda maior ou igual à quantia mínima)

Então, para este caso, produz somente o que excede a quantia mínima na última semana do mês e não haverá estoque de sobra.

*ii.*  $d < 3,1$  (demanda menor que a quantia mínima)

Então, para este caso, nada se produz na última semana do mês e haverá estoque de sobra. Note que, apesar de não eliminarmos o estoque excedente, teremos um nível muito menor do que restaria se adotássemos o modelo de produzir para a previsão e a fábrica produzisse 5,4.

A tomada de decisão na construção de estoques de antecipação é, então, muito mais acurada e pode-se reduzir muito o nível de estoques mantendo o mesmo nível de serviço.

### 5.3. Análise simplificada de capacidade

Levando-se em conta uma empresa que produz vários itens e que a capacidade de produção é restrita, existe a necessidade de fazer esta análise individualmente, item a item. Feito isso, o passo seguinte deve ser uma análise de capacidade para verificar se a fábrica pode suportar a quantia variável total, igual à soma de todos os variáveis de cada item, na última semana do mês.

Então, o total de mínimos é definido como:

$$M = \sum_i m_i$$

para  $i =$  qtde de itens.

E, o volume variável total é dado pela soma dos volumes variáveis de cada item:

$$V = \sum_i v_i$$

para  $i =$  qtde de itens.

Se,  $V \leq Cs$ , onde  $Cs$  é a capacidade de produção em uma semana, então, a fábrica terá capacidade suficiente para suportar a confirmação do variável total e se pode confirmar esta política de mínimos para o mês.

Se,  $V > Cs$ , então, uma nova rodada deve ser feita para adequar a política de mínimos para o mês vigente. Deve-se elevar os mínimos de alguns itens para que o variável total seja menor do que a capacidade.

Veja um exemplo para melhor esclarecer:

### 5.3.1. Exemplo

Suponha que o leitor tenha recebido as seguintes demandas no início do mês.

**Tabela 5.1: Demandas**

Itens (Cods)	Demanda
9001	79
9002	73
9003	54
9004	15
9005	35

Seguindo a metodologia, devemos fazer o estudo dos históricos de demanda de cada item para definir os mínimos.

Com os totais de demanda(D) e mínimo(M), achamos o total variável(V).

Veja a seguir:

**Tabela 5.2: Calculando o total variável(V)**

Itens (Cods)	Demanda	Mínimos
9001	79	50
9002	73	62
9003	54	35
9004	18	12
9005	35	26
<b>Q_Mínimo</b>	<b>259</b>	<b>185</b>

<b>Variável(V)</b>
<b>74</b>

Ou seja, se a capacidade na última semana é de 80, então pode-se seguir com esta política de mínimos. No caso de ser 70, deve-se aumentar os mínimos de alguns itens para reduzir o variável total(V). Isto pode ser feito, arriscando produzir mais em alguns itens até a semana 3 do mês. Obviamente, quanto mais se produzir

antes do fim de mês, maior o risco de se produzir estoques desnecessários. Veja uma possibilidade para tal situação:

**Tabela 5.3: Reduzindo o variável total(V)**

<b>Itens (Cods)</b>	<b>Demanda</b>	<b>Mínimos</b>
9001	79	52
9002	73	62
9003	54	37
9004	18	12
9005	35	28
<b>Q_Mínimo</b>	<b>259</b>	<b>191</b>

<b>Variável(V)</b>
<b>68</b>

Agora, o variável tem valor menor do que 70, portanto pode-se seguir com esta política de produção.

Se o leitor necessitar de uma análise de capacidade mais precisa, concomitantemente mais detalhada, veja o tópico a seguir que requer um certo conhecimento de estatística básica.

#### ***5.4. Análise estatística de capacidade***

Quando se comparou os valores de capacidade com o variável na última semana, era desejado que:

$$V \leq Cs$$

Porém, demanda não é uma grandeza determinística e para se ter maior compreensão do fenômeno e determinar qual o risco de perder vendas, deve-se fazer uma análise estatística.

Sistemas produtivos regularmente possuem por característica, o nível de serviço. Este pode ser caracterizado como a medida de qualidade do atendimento para produtos demandados. É expresso em porcentagem e, por exemplo, se a demanda pelos produtos numa companhia foi de 100 e esta supriu 95, então o nível de serviço foi de 95%. O sistema “aceita” perder até 5% das vendas.

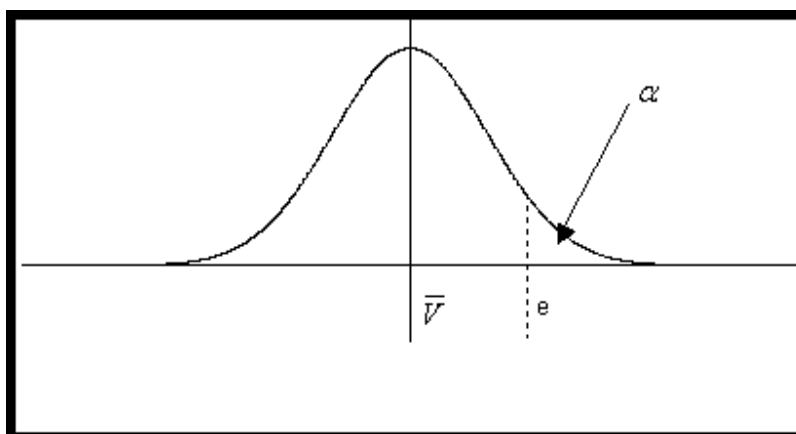
Portanto, como se deseja reduzir estoques, contudo, continuar mantendo um bom nível de serviço, pode-se fazer a seguinte pergunta:

“Qual a capacidade mínima na última semana do mês que se necessita, dada a variação de demanda neste período e o nível de serviço que necessito entregar?”

Para responder esta pergunta, é preciso entender o fenômeno de variação de demanda neste período do mês, ou seja, como variaram as quantias variáveis no passado.

Para o modelamento estatístico associado, deve-se assumir a hipótese de que a história irá repetir-se. Ou seja, usar-se-á do histórico de variação para definir qual deverá ser o quantia variável máxima,  $V_{\max}$ .

A curva estatística “t” de Student representará a função densidade de probabilidade do problema.



**Fig 5.3 – Curva estatística**

Adotou-se a seguinte nomenclatura:

$\alpha$  : complementar do nível de serviço(NS) então:

$$\alpha = 100\% - NS$$

$e$ : abscissa do ponto da curva que obedece a probabilidade definida por NS.

$\bar{V}$  : média das variáveis(V) do histórico.

S: desvio padrão da amostra

$n$ : número de elementos da amostra

Por exemplo, considere a tabela a seguir com dados de variáveis( $V$ ) do histórico, a média e desvio padrão:

**Tabela 5.4: Média e desvio padrão dos variáveis( $V$ )**

<i>Jan</i>	30,0
<i>Fev</i>	40,0
<i>Mar</i>	36,0
<i>Abr</i>	35,0
<i>Mai</i>	41,0
<i>Jun</i>	32,0
<i>Jul</i>	42,0
$\bar{V}$	<b>36,6</b>
$S$	<b>4,3</b>

Para a distribuição t de Student, temos a seguinte equação:

$$e = \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}$$

onde  $t$  é encontrado tabelado. Alguns softwares comumente utilizados possuem funções estatísticas que podem auxiliar o leitor a achá-lo. Este é função de duas variáveis:

$$t = t(n-1, \alpha)$$

Portanto, para achar um valor  $V$  e comparar com a capacidade semanal, vem:

$$V = \bar{V} + e \Rightarrow$$

$$V = \bar{V} + \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} \leq Cs$$

#### 5.4.1. Exemplo

Para os dados da tabela, em que  $n = 6$  e supondo  $NS = 95\%$ , e  $Cs = 70$ , calcula-se:

$$t = t(5;5\%) = 2,015$$

$$V = \bar{V} + \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}} = 61,6 + \frac{2,015 \cdot 4,3}{\sqrt{6}} \Rightarrow V = 68,8$$

Como  $V \leq Cs$ , então pode-se seguir com esta política de produção para o mês.

### 5.5. Aplicação da técnica

Neste tópico, veremos como aplicar este novo conceito ao manejo diário de planejamento. Duas planilhas são dadas como sugestão de ferramentas de controle.

#### 5.5.1. Planilha Mínimo

Com estas técnicas em mãos, pode-se utilizar da facilidade que planilhas oferecem e montar o modelo da técnica Produzir o mínimo baseado no histórico de demandas e formulação explicada neste capítulo. As planilhas apresentam boa flexibilidade/facilidade de trabalho e possuem todas as funções necessárias, não havendo maiores problemas.

A cada início de período (mês), deve-se atualizar os mínimos de cada item.

### **5.5.2. Painel de produção**

Um outro fator fundamental para a implementação desta técnica com sucesso é o bom manejo das informações de inventário, ordens, previsão de demanda e mínimo. Muitas dessas informações vêm de softwares ERP e Databases, dos quais é difícil extrair os dados facilmente e rapidamente, além de serem visualizadas em locais diferentes.

Uma interface de planejamento pode ser elaborada em forma de planilha também, contendo todos estes dados num só local e em tempo real. A programação de produção já complicada o bastante quando se sabe o que deve ser feito. No caso de manejo ineficiente de informações, o planejamento se torna lento e errôneo pois têm pequeno grau de visualização.

Perguntas importantes como: “Qual é a situação de estoques para determinado item?”, “Quantas ordens abertas tenho?”, “Quanto falta produzir para atingir o mínimo?”, “Quanto falta para atingir a previsão de demanda?” são respondidas numa mesma tela, rapidamente.

Com esta interface, o planejador terá extrema facilidade para saber quanto produzir, sem superdimensionar estoques ou causar mal-serviço.

## **5.6. Efeitos na produção**

Para a operação na fábrica, teremos alguns pré-requisitos para que se possa operar desta forma. Primeiramente, devem ser definidos dois períodos no mês:

- 1) Período de baixa
- 2) Período de alta

### **5.6.1. Período de baixa**

No período de baixa, a demanda está abaixo da capacidade e podemos utilizar o excedente de capacidade para construir as quantias de estoque mínimo. O tamanho dos ciclos não é tão importante e podem-se fazer corridas longas de produção minimizando perdas de “setup”(trocas). Cada setup, custa um certo valor, pois temos máquinas paradas, perdas de materiais na estabilização, etc. Fazendo menos setups, tem-se um ganho associado a isso. Contudo a redução de setups, acaba ficando como crédito para o período de alta, onde ocorrerão mais setups.

### **5.6.2. Período de alta**

No período de alta, a situação muda, pois agora as ordens dos clientes puxam da empresa a produção e há a necessidade de corridas curtas de produção para atender os pedidos, aumentando o número de “setups”. Neste período o tamanho dos ciclos é importante e quanto menores puderem ser melhor. Portanto, deve-se trabalhar para reduzir a duração dos setups e, conseqüentemente, reduzir o

tamanho dos lotes mínimos de produção. Para isto, existem técnicas de redução e uma referência básica é a técnica SMED de Shigeo Shingo (SHINGO, 1985).

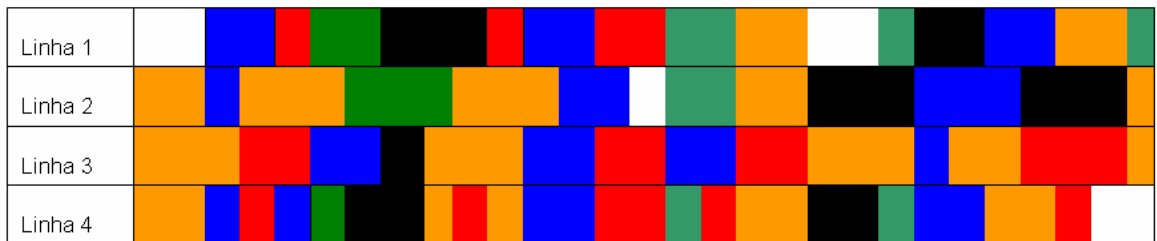
Para se ter uma idéia de como se configuraria o planejamento de produção, numa visualização similar ao gráfico de Gantt, veja a seguir:

#### • Semanas de Baixa Demanda



▶ corridas longas    ▶ menos setups    ▶ maior proven capacity

#### • Semanas de Alta Demanda



▶ corridas curtas    ▶ mais setups    ▶ menor proven capacity    ▶ maior flexibilidade

**Fig. 5.3 – efeitos no planejamento de produção**

### ***5.7. Reaplicando o conceito para matérias primas***

Veja que este conceito pode ser reaplicado também no predecessor do planejamento de produto acabado na cadeia de suprimentos, o planejamento de materiais.

O planejamento de materiais deve acompanhar esta nova mentalidade, para que haja uma redução significativa de estoques, afinal, na maioria dos casos, o estoque de matéria-prima é a maior parcela do estoque total.

O planejamento de materiais de embalagem pode seguir esta mentalidade de forma direta à citada no tópico anterior. A reaplicação está imediatamente vinculada, pois a demanda por material de embalagem é de proporção 1 para 1 com a demanda de produto acabado e os lead-times geralmente são curtos. Então, a compra de material de embalagem pode ser puxada diretamente do plano de produção.

Já as matérias-primas são utilizadas genericamente em alguns itens, sendo que algumas são parte constituinte de todos os produtos do portfolio. Estas devem ser compradas de acordo com a soma das proporções das matérias-primas nos itens.

### ***5.8. Política com fornecedores***

Para materiais que possuem Lead-Time (LT) de entrega muito grande, não há agilidade na entrega e não se pode estabelecer uma quantia mínima até uma determinada semana e na última semana trazer o variável. Deve-se estabelecer a compra de acordo com o Lead time dos fornecedores.

No longo prazo, deve-se “puxar” dos fornecedores corridas menores e entregas mais freqüentes. A cada vez que se aumenta o número de entregas, pode-se reduzir o estoque na fábrica.

A integração com o fornecimento é imprescindível para que se possa trabalhar de forma enxuta, e deve-se trabalhar idéias para que haja sincronia entre a produção da planta e o fornecimento, eliminando os desperdícios e reduzindo custos. Uma ação muito eficaz é ter bom relacionamento com o fornecedor, e integrar-se a ele o máximo possível.

Primeiramente, este tipo de relacionamento não é possível quando se possui muitos fornecedores. É importante o enxugamento de empresas fornecedoras, pois se pode gerar um vínculo maior entre as partes. Deve-se conhecer bem o processo de produção dos fornecedores selecionados para evitar solicitações que fogem a realidade deste. Além do mais, podem-se reconhecer áreas de oportunidade de uma forma mais global, com vista à cadeia de suprimento como um todo. Soluções de ambas as partes devem ser criadas e implementadas.

Um método para estimular o fornecedor a agir neste sentido rapidamente é o fechamento de acordo por consignação. A consignação é um contrato de fornecimento diferenciado em que o fornecedor entrega os materiais, porém não fatura neste momento, mas sim somente quando o material for utilizado para produção.

O material está na fábrica, porém não é desta. Só passa a ser da fábrica quando foi dada uma ordem de produção. Note que o estoque da fábrica é **zero**.

Este acordo é válido para fornecedores com longos LT de entrega. É um sistema em que o fornecedor administra os custos do inventário e isto ocorrendo, os fornecedores passam a tomar ações para evitá-los.

## 6. *Otimização da capacidade*

### 6.1. *Objetivo*

Para auxiliar os estudos dos “trade-offs” (trocas) entre os custos do sistema e capacidade, foi feito um modelamento utilizando pesquisa operacional em programação linear-inteira. O modelo tem por objetivo mostrar qual é a distribuição de trabalho ótima no mês, determinando quantos turnos são necessários para cumprir a demanda utilizando o menor inventário de antecipação possível dentro das restrições do problema. O algoritmo foi desenvolvido na forma de planilha com um software otimizador acoplado e devolve ao usuário a configuração de menor custo do sistema. O exemplo dado, mais uma vez, se baseia na fabricação de detergente em pó, mas o potencial de aplicação é vasto.

### 6.2. *Desenvolvimento*

Dada a demanda, vamos analisar os parâmetros de capacidade da planta.

A capacidade produtiva depende do número de horas disponível para produção. Suponha 3 (três) turnos de trabalho na fábrica:

**Turno A:      das 06 às 14hrs**

**Turno B:      das 14 às 22hrs**

**Turno C:      das 22 às 06hrs**

Para fins de pagamento dos funcionários, consideremos o seguinte:

**Turno A e B = Dia**

**Turno C = Noite (30% mais caro que turnos no dia)**

Os empregados trabalham de segunda a sexta nos três turnos. Sábado há manutenção programada(sem produção) nos turnos A e B. Pela legislação, o operário que trabalha no turno C ganha um salário 30% maior, pois trabalha na madrugada. Em alta demanda, o Domingo é utilizado para supri-la e são pagas horas-extras.

Para tentar balancear o funcionamento da fábrica, será utilizado modelamento com base nas seguintes hipóteses.

### **6.3. Hipóteses**

*i.* Os funcionários devem trabalhar 8 horas consecutivas e devem ter pelo menos um dia de folga. Por isso, não se quer que os funcionários excedam 6 dias trabalhados.

*ii.* Toma-se a demanda deterministicamente, portanto não é um modelo estocástico. A análise é feita para a média de demandas previstas para os próximos meses.

*iii.* Pode-se estudar a postergação (“atraso”) destas horas de manutenção para produzir nos períodos de alta demanda. Ou seja, utilizar o horário que deveria haver manutenção para produzir na semana de alta demanda e repor a manutenção na semana seguinte (de demanda menor).

*iv.* Existe custo associado a carregar inventário no tempo. Isto será definido mais adiante e existe inventário de segurança para cobrir demandas inesperadas(SS).

v. Funcionários podem ser treinados para saber operar variadas máquinas (operários multi-função).

O equilíbrio dos fatores descritos deve ser achado para otimizar a produção da planta, acarretando em menores custos de produção.

#### ***6.4. Detalhamento das linhas de produção***

Para este mercado, existem dois tipos de embalagem. São eles:

- 1) cartuchos
- 2) bolsas

Dentre esses tipos pode-se ter diversos tamanhos de bolsa (de 200g a 5 kg), e são divididos em duas categorias, tamanhos pequenos (de 200 a 1kg) e tamanhos grandes (maior de 1 kg e até 5 Kg).

Portanto, o processo exige a utilização de 3 (três) tipos de máquinas, conforme apresentado a seguir:

- i) AC:** Possui uma linha de máquinas que colocam o sabão em pó em embalagens de cartucho em dois tamanhos, 500g e 1kg.
- ii) 222:** Possui 3 linhas, as quais embalam o sabão em pó em bolsas de tamanho menor ou igual a 1 kg.
- iii) 350:** Possui uma linha de envase de bolsas grandes, maiores que 1kg, mas de no máximo 5kg.

A seguir está apresentado um gráfico que demonstra o funcionamento padrão para as 4 semanas:

	Seg			Ter			Qua			Qui			Sex			Sab			Dom		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Ac																					
222-1																					
222-2																					
222-3																					
350																					

Onde:

	Produção
	Manutenção
	Descanso

**Figura 6.1 – Funcionamento das Linhas de Embalagem**

Veja que existem estes turnos nas 4 semanas, fazendo com que se tenha sempre a mesma capacidade máxima disponível. A idéia é que se possa modificar este gráfico de forma a gerar maior capacidade nos períodos de alta demanda e menor capacidade no período de baixa demanda.

## 6.5. Modelamento

### 6.5.1. Definindo as Entradas do Problema

No modelo, serão utilizados como Inputs:

**C222a** - Custo da hora de produção do Turno A em 222s.

**C222b** - Custo da hora de produção do Turno B em 222s.

**C222c** - Custo da hora de produção do Turno C em 222s.

**C350a** - Custo da hora de produção do Turno A na 350.

**C350b** - Custo da hora de produção do Turno B na 350.

**C350c** - Custo da hora de produção do Turno C na 350.

**C.ACa** - Custo da hora de produção do Turno A em AC.

**C.ACb** - Custo da hora de produção do Turno B em AC.

**C222,i** - Custo de carregar inventário por uma semana de itens produzidos por 222.

**C350,i** - Custo de carregar inventário por uma semana de itens produzidos por 350.

**C.AC,i** - Custo de carregar inventário por uma semana de itens produzidos por AC.

**Q222** - Capacidade de Produção média em 222

**Q222** - Capacidade de Produção média em 350

**Q.AC** - Capacidade de Produção média em AC

**SS\_222** – Estoque de segurança para 222.

**SS\_350** - Estoque de segurança para 350.

**SS\_Ac** - Estoque de segurança para Ac.

**Ei\_222** – Estoque inicial para 222.

**Ei\_350** - Estoque inicial para 350.

**Ei\_Ac** - Estoque inicial para Ac.

E para  $t = 1,2,3,4$  representando as 4 semanas do mês:

**D<sub>222,t</sub>** - Demanda p/ bolsas em 222s.(  $m \leq 1\text{Kg}$  ), sem t.

**D<sub>350,t</sub>** - Demanda p/ bolsas em 350s.(  $m > 1\text{Kg}$  ), sem t.

**D<sub>Ac,t</sub>** - Demanda p/ cartuchos em Ac (500g ou 1Kg) , sem t.

Dois tipos de inputs que não são triviais serão definidos agora:

**T<sub>d,222</sub>** - Máximo de turnos 222 disponíveis na semana t.

**T<sub>d,350</sub>** - Máximo de turnos 350 disponíveis na semana t.

**T<sub>d,Ac</sub>** - Máximo de turnos Ac disponíveis na semana t.

**E<sub>d,222</sub>** - Equipes 222 disponíveis para produção na semana t.

**E<sub>d,350</sub>** - Equipes 350 disponíveis para produção na semana t.

**E<sub>d,Ac</sub>** - Equipes Ac disponíveis para produção na semana t.

Definem-se estas entradas, pois existe a possibilidade de treinar os operários para trabalhar em todas as máquinas. Por exemplo, nas semanas que houver necessidade, as equipes de Ac podem não trabalhar na Ac para que haja turnos a mais no fim de semana nas 222 cuja demanda é a maior de todas.

Dá-se esta liberdade para que o modelo otimize o funcionamento da fábrica com esta vantagem que pode-se obter do sistema atual.

Para o modelamento, utilizou-se um *solver plugin* que é instalado no *software* de planilhas, e que faz a escolha do ótimo segundo os métodos de programação linear e

inteira, encontrando o ótimo sem haver necessidade da geração dos algoritmos de solução. Hoje em dia, estes são de fácil acesso e podem ser utilizados à escolha do leitor.

Veja na figura 6.2, os turnos em azul representam os turnos flexíveis em que o modelo otimizador vai escolher em quais turnos as equipes trabalharão.

	Seg			Ter			Qua			Qui			Sex			Sab			Dom		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Ac																					
222-1																M	M		SA	SA	
222-2																M	M		S3A	S3B	
222-3																M	M			Q3	
350																					

Legenda		Produção		Descanso
	M	Manutenção		Turno flexível

<b>SAA</b>	– Turno original de Sábado/Ac/Turno A .
<b>SAB</b>	– Turno original de Sábado/Ac/Turno B .
<b>S3A</b>	– Turno original de Sábado/350/Turno A .
<b>S3B</b>	– Turno original de Sábado/350/Turno B .
<b>Q3C</b>	– Turno original de 4º-feira/350/Turno C.

Figura 6.2 – Representação dos turnos flexíveis

### 6.5.2. Variáveis do Problema

Assumindo  $t = 1,2,3,4$ :

$X_{t,A}$  - Turnos A trabalhados na semana t, em 222s

$X_{t,B}$  - Turnos B trabalhados na semana t, em 222s

$X_{t,C}$  - Turnos C trabalhados na semana t, em 222s

$X_t = X_{t,A} + X_{t,B} + X_{t,C}$  = Soma dos turnos de produção da 222 na semana t

$Y_{t,A}$  - Turnos A trabalhados na semana t, em 350s

$Y_{t,B}$  - Turnos B trabalhados na semana t, em 350s

$Y_{t,C}$  - Turnos C trabalhados na semana t, em 350s

$Y_t = Y_{t,A} + Y_{t,B} + Y_{t,C}$  = Soma dos turnos de produção da 350 na semana t

$Z_{t,A}$  - Turnos A trabalhados na semana t, em AC

$Z_{t,B}$  - Turnos B trabalhados na semana t, em AC

$Z_t = Z_{t,A} + Z_{t,B}$  = Soma dos turnos de produção da AC na semana t

### 6.5.3. *Variáveis Auxiliares*

$P_{222,t}$  - Produção na Semana t pela 222.

$P_{350,t}$  - Produção na Semana t pela 350.

$P_{AC,t}$  - Produção na Semana t pela AC.

$i_{222,t}$  – Inventário 222 na semana t.

$i_{350,t}$  – Inventário 350 na semana t.

$i_{AC,t}$  – Inventário AC na semana t.

### 6.5.4. *Definição da Função Objetivo*

Nesse estudo, a função objetivo deve totalizar os custos encontrados na cadeia produtiva, somados aos custos de manutenção de estoques. Identificadas todas as parcelas dessa função, deve-se buscar sua minimização. A referida função objetivo pode ser descrita como:

*f.o.* : **Min**  $z =$  [custo de produzir nas 222s] + [custo de produzir na 350] +  
[custo de produzir na Ac] + [custo de inventário 222] + [custo de inventário  
350] + [custo de inventário Ac]

ou seja,

$$\begin{aligned} \text{Min } \bar{z} = & (X_{1,A} + X_{2,A} + X_{3,A} + X_{4,A}) \cdot C_{222,A} + (X_{1,B} + X_{2,B} + X_{3,B} + X_{4,B}) \cdot C_{222,B} + \\ & (X_{1,C} + X_{2,C} + X_{3,C} + X_{4,C}) \cdot C_{222,C} + (Y_{1,A} + Y_{2,A} + Y_{3,A} + Y_{4,A}) \cdot C_{350,A} + \\ & (Y_{1,B} + Y_{2,B} + Y_{3,B} + Y_{4,B}) \cdot C_{350,B} + (Y_{1,C} + Y_{2,C} + Y_{3,C} + Y_{4,C}) \cdot C_{350,C} + \\ & (Z_{1,A} + Z_{2,A} + Z_{3,A} + Z_{4,A}) \cdot C_{AC,A} + (Z_{1,B} + Z_{2,B} + Z_{3,B} + Z_{4,B}) \cdot C_{AC,B} + \\ & (I_{222,1} + I_{222,2} + I_{222,3} + I_{222,4}) \cdot C_{222,i} + (I_{350,1} + I_{350,2} + I_{350,3} + I_{350,4}) \cdot C_{350,i} + \\ & (I_{AC,1} + I_{AC,2} + I_{AC,3} + I_{AC,4}) \cdot C_{AC,i} \end{aligned} \quad (1)$$

### 6.5.5. Relações e Restrições

Após a definição da função objetivo, serão identificadas todas as relações e restrições existentes na operação.

Primeiramente, todas as variáveis devem ser não negativas.

$$\begin{aligned} X_{1,A} \geq 0; X_{1,B} \geq 0; X_{1,C} \geq 0; X_{2,A} \geq 0; X_{2,B} \geq 0; X_{2,C} \geq 0 \\ X_{3,A} \geq 0; X_{3,B} \geq 0; X_{3,C} \geq 0; X_{4,A} \geq 0; X_{4,B} \geq 0; X_{4,C} \geq 0 \\ Y_{1,A} \geq 0; Y_{1,B} \geq 0; Y_{1,C} \geq 0; Y_{2,A} \geq 0; Y_{2,B} \geq 0; Y_{2,C} \geq 0 \\ Y_{3,A} \geq 0; Y_{3,B} \geq 0; Y_{3,C} \geq 0; Y_{4,A} \geq 0; Y_{4,B} \geq 0; Y_{4,C} \geq 0 \\ Z_{1,A} \geq 0; Z_{1,B} \geq 0; Z_{2,A} \geq 0; Z_{2,B} \geq 0; Z_{3,A} \geq 0; Z_{3,B} \geq 0; Z_{4,A} \geq 0; Z_{4,B} \geq 0 \end{aligned}$$

Quanto ao inventário, impõe-se que não deve ser menor que o estoque de segurança (SS) e o inventário na semana “t” é igual ao inventário anterior (t-1) somado à produção menos a demanda:

$$I_{222,t} = I_{222,(t-1)} + (X_{t,A} + X_{t,B} + X_{t,C}) \cdot Q_{222} - D_{222,t}$$

$$I_{350,t} = I_{350,(t-1)} + (Y_{t,A} + Y_{t,B} + Y_{t,C}) \cdot Q_{350} - D_{350,t}$$

$$I_{Ac,t} = I_{Ac,(t-1)} + (Z_{t,A} + Z_{t,B}) \cdot Q_{Ac} - D_{Ac,t}$$

$$I_{222,t} \geq SS_{222}$$

$$I_{350,t} \geq SS_{350}$$

$$I_{Ac,t} \geq SS_{Ac}$$

para  $t = 1,2,3,4$

Para as restrições de turnos factíveis, devem ser menores ou iguais ao número de equipas disponíveis, pois sem equipas não se tem produção:

$$X_{t,A} \leq X_{d,t,A}$$

$$X_{t,B} \leq X_{d,t,B}$$

$$X_{t,C} \leq X_{d,t,C}$$

$$Y_{t,A} \leq Y_{d,t,A}$$

$$Y_{t,B} \leq Y_{d,t,B}$$

$$Y_{t,C} \leq Y_{d,t,C}$$

$$Z_{t,A} \leq Z_{d,t,A}$$

$$Z_{t,B} \leq Z_{d,t,B}$$

$$Z_{t,C} \leq Z_{d,t,C}$$

para  $t = 1,2,3,4$

e, a soma dos turnos deve ser menor ou igual ao número de turnos disponíveis:

$$X_{t,A} + X_{t,B} + X_{t,C} \leq Td_{t,222}$$

$$Y_{t,A} + Y_{t,B} + Y_{t,C} \leq Td_{t,350}$$

$$Z_{t,A} + Z_{t,B} \leq Td_{t,Ac}$$

para  $t = 1,2,3,4$

Como foi dada liberdade para o modelo escolher locar as equipes em diferentes máquinas e turnos, fechou-se as restrições de equipe em cada semana em:

$$X_t + Y_t + X_t \leq Ed_{t,222} + Ed_{t,350} + Ed_{t,Ac}$$

para  $t = 1,2,3,4$

Estes números dependem de quantas horas de manutenção existem na semana e das equipes extras de outras linhas que podem trabalhar nesta linha, por exemplo:

Considere que na **semana 4** não haverá manutenção, utilizando este tempo para produzir e com turnos flexíveis para ganhar capacidade na 222. Considere a **semana 1** com dois turnos de manutenção e sábado e domingo de folga. Agora, considere a **semana 2 e 3**, produção normal e manutenção aos sábados nos turnos A e B.

Veja graficamente a distribuição dada e ao lado, o cálculo dos turnos e equipes disponíveis.

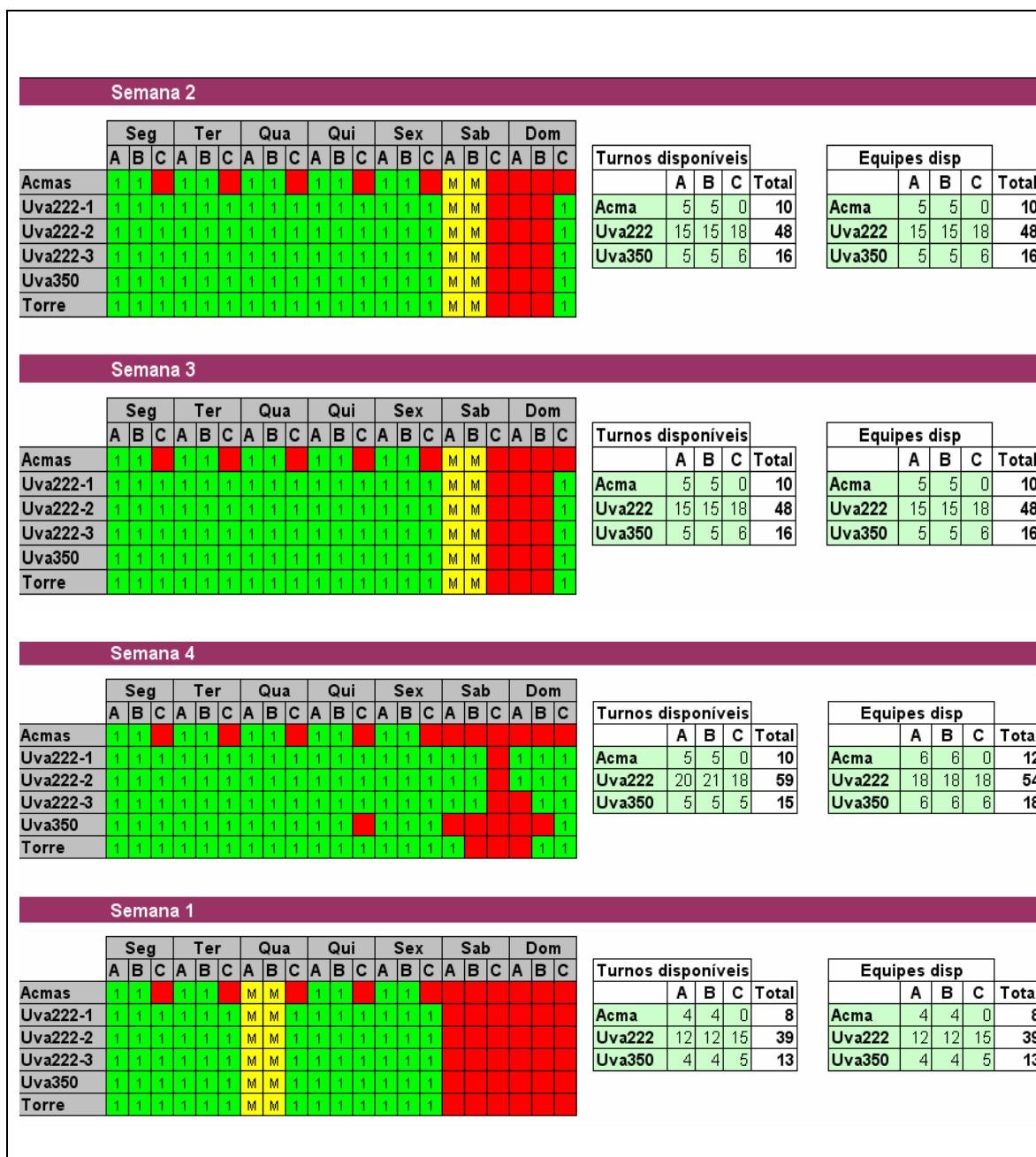


Figura 6.3 – Exemplo de turnos e equipes disponíveis

Observe que além dos turnos em vermelho, a manutenção (em amarelo) também não é considerada turno disponível para a produção.

### 6.6. Resultados

Alguns testes foram feitos e tomou-se o esquema da figura 3.4 para agendar a produção. Na semana 4 os trabalhadores terão 6 dias de trabalho como usual, porém o modelo de otimização pode escolher turnos aos domingos para os trabalhadores da Ac e 350 produzirem na 222.

Para viabilizar a idéia de, na semana 4, mudar equipes entre máquinas, e possível trabalho de domingo, caracterizando uma desvantagem para os trabalhadores pois terão seus horários alterados, colocou-se duas folgas na semana 1 (Sab e Dom). Atualmente os mesmos têm 1 dia de folga por semana somente (6 dias de trabalho), assim os trabalhadores terão a desvantagem compensada pela vantagem de ter uma semana com dois dias de folga. Esta também é uma vantagem para a operação pois a semana 1 tem demanda baixa e sobraría capacidade ociosa.

As entradas para simulação no modelo foram:

**Tabela 6.1: Entradas**

Inputs		
<b>Para 222:</b>		
<b>Custos de produção (US\$)</b>		
<b>C222a</b>	64,81	Custo da equipe de produção do turno A em 222s
<b>C222b</b>	64,81	Custo da equipe de produção do turno B em 222s
<b>C222c</b>	84,26	Custo da equipe de produção no turno C em 222s
<b>Custo de inventário</b>		
<b>C222,i =</b>	103	Custo de carregar inventário por uma semana de itens produzidos por 222 (\$)

Produtividade		
nº linhas	3	nº de linhas 222
Q222 =	4,3	Capacidade de Prod média da linha 222

Demandas		
	Valor	Descrição
D222, mês	715,0	
% sem 1	14%	porcentagem da demanda na semana 1
% sem 2	18%	porcentagem da demanda na semana 2
% sem 3	25%	porcentagem da demanda na semana 3
% sem 4	43%	porcentagem da demanda na semana 4
D222,1	100,1	Demanda p/ bolsas em 222s.( m<= 1Kg) , sem 1
D222,2	128,7	Demanda p/ bolsas em 222s.( m<= 1Kg) , sem 2
D222,3	178,8	Demanda p/ bolsas em 222s.( m<= 1Kg) , sem 3
D222,4	307,5	Demanda p/ bolsas em 222s.( m<= 1Kg) , sem 4

Safety Stock		
SS_222	0,0	SS para 222

Inventário inicial		
Ei_222	0,0	Estoque inicial para 222
Para 350:		
C350a	38,89	Custo da equipe de produção no turno A em 350s
C350b	38,89	Custo da equipe de produção no turno B em 350s
C350c	50,56	Custo da equipe de produção no turno C em 350s
C350,i =	100	Custo de carregar inventário por uma semana de itens produzidos por 350

Q350 =	2,3	Capacidade de Prod média em 350
--------	-----	---------------------------------

	Valor	Descrição
D350, mês	105,0	
% sem 1	18%	porcentagem da demanda na semana 1
% sem 2	22%	porcentagem da demanda na semana 2
% sem 3	27%	porcentagem da demanda na semana 3
% sem 4	33%	porcentagem da demanda na semana 4

<b>D350,1</b>	18,9	Demanda p/ bolsas em 350s.( m> 1Kg) , sem 1
<b>D350,2</b>	23,1	Demanda p/ bolsas em 350s.( m> 1Kg) , sem 2
<b>D350,3</b>	28,4	Demanda p/ bolsas em 350s.( m> 1Kg) , sem 3
<b>D350,4</b>	34,7	Demanda p/ bolsas em 350s.( m> 1Kg) , sem 4

<b>SS_350</b>	0	SS para 350
---------------	---	-------------

<b>Ei_350</b>	0	Estoque inicial para 350
<b>Para AC: (Detalhe: não tem turno C)</b>		
<b>C.ACa</b>	64,81	Custo da equipe de prod no turno A em Ac
<b>C.ACb</b>	64,81	Custo da equipe de prod no turno B em Ac
<b>Cac,i =</b>	107	Custo de carregar inventário por uma semana de itens produzidos por AC

<b>Q.Ac =</b>	4,3	Capacidade de Prod média em Ac por turno
---------------	-----	--

	Valor	
<b>Dac, mês</b>	<b>153,0</b>	
% sem 1	17%	porcentagem da demanda na semana 1
% sem 2	19%	porcentagem da demanda na semana 2
% sem 3	26%	porcentagem da demanda na semana 3
% sem 4	39%	porcentagem da demanda na semana 4
<b>D.Ac,1</b>	26,0	Demanda p/ cartuchos em Ac (500g ou 1Kg) , sem 1
<b>D.Ac,2</b>	28,3	Demanda p/ cartuchos em Ac (500g ou 1Kg) , sem 2
<b>D.Ac,3</b>	39,8	Demanda p/ cartuchos em Ac (500g ou 1Kg) , sem 3
<b>D.Ac,4</b>	58,9	Demanda p/ cartuchos em Ac (500g ou 1Kg) , sem 4

<b>SS_Ac</b>	0	SS para Ac
--------------	---	------------

<b>Ei_Ac</b>	0	Estoque inicial para Ac
--------------	---	-------------------------

Com este cenário em mãos, o modelo otimizante encontrou a seguinte distribuição de trabalho:

**Tabela 6.2 : Solução encontrada – Distr. de trabalho nas 222**

<b>X1A</b>	Turnos A trabalhados na sem 1, em 222s	12,0	=<=	12
<b>X1B</b>	Turnos B trabalhados na sem 1, em 222s	12,0	=<=	12
<b>X1C</b>	Turnos C trabalhados na sem 1, em 222s	0,0	<=	15
<b>X2A</b>	Turnos A trabalhados na sem 2, em 222s	15,0	=<=	15
<b>X2B</b>	Turnos B trabalhados na sem 2, em 222s	15,0	=<=	15
<b>X2C</b>	Turnos C trabalhados na sem 2, em 222s	6,0	<=	18
<b>X3A</b>	Turnos A trabalhados na sem 3, em 222s	15,0	=<=	15
<b>X3B</b>	Turnos B trabalhados na sem 3, em 222s	15,0	=<=	15
<b>X3C</b>	Turnos C trabalhados na sem 3, em 222s	18,0	=<=	18
<b>X4A</b>	Turnos A trabalhados na sem 4, em 222s	20,0	=<=	20
<b>X4B</b>	Turnos B trabalhados na sem 4, em 222s	21,0	=<=	21
<b>X4C</b>	Turnos C trabalhados na sem 4, em 222s	18,0	=<=	18

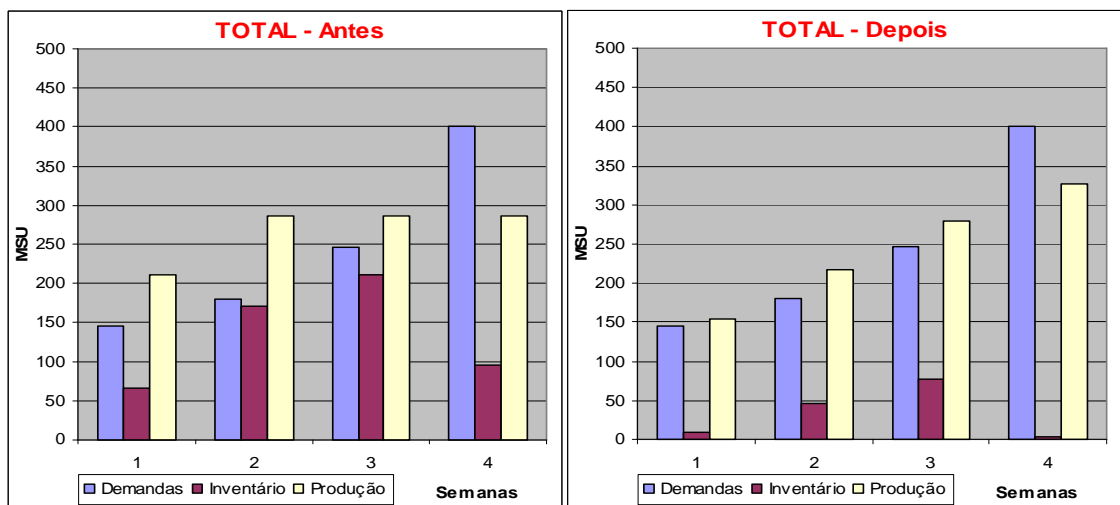
**Tabela 6.3 : Solução encontrada – Distr. de trabalho na 350**

<b>Y1A</b>	Turnos A trabalhados na sem 1, em 350s	4,0	=<=	4
<b>Y1B</b>	Turnos B trabalhados na sem 1, em 350s	4,0	=<=	4
<b>Y1C</b>	Turnos C trabalhados na sem 1, em 350s	1,0	<=	5
<b>Y2A</b>	Turnos A trabalhados na sem 2, em 350s	5,0	=<=	5
<b>Y2B</b>	Turnos B trabalhados na sem 2, em 350s	5,0	=<=	5
<b>Y2C</b>	Turnos C trabalhados na sem 2, em 350s	0,0	<=	6
<b>Y3A</b>	Turnos A trabalhados na sem 3, em 350s	5,0	=<=	5
<b>Y3B</b>	Turnos B trabalhados na sem 3, em 350s	5,0	=<=	5
<b>Y3B</b>	Turnos C trabalhados na sem 3, em 350s	2,0	<=	6
<b>Y4A</b>	Turnos A trabalhados na sem 4, em 350s	5,0	=<=	5
<b>Y4B</b>	Turnos B trabalhados na sem 4, em 350s	5,0	=<=	5
<b>Y4C</b>	Turnos C trabalhados na sem 4, em 350s	5,0	=<=	5

**Tabela 6.4 : Solução encontrada – Distr. de trabalho na AC**

<b>Z1A</b>	Turnos A trabalhados na sem 1, em Ac	4,0	=<=	4
<b>Z1B</b>	Turnos B trabalhados na sem 1, em Ac	2,0	<=	4
<b>Z2A</b>	Turnos A trabalhados na sem 2, em Ac	5,0	=<=	5
<b>Z2B</b>	Turnos B trabalhados na sem 2, em Ac	4,5	<=	5
<b>Z3A</b>	Turnos A trabalhados na sem 3, em Ac	5,0	=<=	5
<b>Z3B</b>	Turnos B trabalhados na sem 3, em Ac	5,0	=<=	5
<b>Z4A</b>	Turnos A trabalhados na sem 4, em Ac	5,0	=<=	5
<b>Z4B</b>	Turnos B trabalhados na sem 4, em Ac	5,0	=<=	5

Agora, veja na figura a seguir a situação do inventário antes e depois da otimização.

**Figura 6.4 – Inventário antes e depois da otimização**

Note que nas semanas 3 e 4, as 222 e a AC trabalham a “todo vapor”, já nas primeiras semanas é encontrada capacidade ociosa, que é jogada para o turno C pois é mais caro. Note também que o turno C pode ser excluído na 1ª semana do mês.

Hoje em dia, por não otimizar a capacidade no planejamento, usa-se o turno C para construir inventário na hora errada e mantém inventário gerando custo.

O modelo aproveita da movimentação que é permitida entre equipes e move as equipes da AC e 350 para a 222 na semana 4 pois este é nossa restrição principal de capacidade. Os turnos sem produção durante a semana podem ser utilizados para outras atividades, como treinamento, desenvolvimento de melhorias e etc.

O inventário antes da otimização tinha um pico de 211 na semana 3, agora possui um pico de 78, resultando numa redução de inventário de **133** unidades, equivalente a aproximadamente 1600 ton.

Na soma das 4 semanas, o inventário decresce de 544 para 136, totalizando redução de **408**, aproximadamente 4900 ton.

### ***6.7. Análise de sensibilidade***

Neste tópico, será apresentada uma análise de sensibilidade com vista os parâmetros que seguram nossa redução de custo, ou seja, pensar-se-á em alternativas que viabilizem um melhor resultado para a função objetivo.

Suponha que se possa aumentar um turno em alguma máquina em uma dada semana. O que acontece com a função objetivo? E com o inventário?

Com estas perguntas em mente, fez-se a análise para cada restrição ativa (“gargalos” para a redução de custos) e foram gerados os números da tabela a seguir:

**Tabela 6.5 – Análise de sensibilidade para as restrições ativas**

<b>Opção</b>	<b>FO (US\$)</b>	<b>Ganho (\$)</b>	<b>Inv Médio</b>	<b>Inv Total</b>
<b>Resultado Original</b>	<b>29968</b>	<b>-</b>	<b>34,0</b>	<b>136,1</b>
<b>Turnos a mais na 222</b>				
Cada turno A ou B a mais - sem 4	29293	<b>675</b>	32,4	129,8
Cada turno C a mais - sem 4	29312	<b>656</b>	32,4	129,8
Cada turno A ou B a mais - sem 3	29505	463	32,9	131,8
Cada turno C a mais - sem 3	29525	443	32,9	131,8
Cada turno A ou B a mais - sem 2	29948	20	34,0	136,1
Cada turno A ou B a mais - sem 1	29967	1	34,0	136,1
<b>Turnos a mais na 350</b>				
Cada turno A ou B a mais - sem 4	29956	12	34,0	136,1
Cada turno A ou B a mais - sem 3	29956	12	34,0	136,1
Cada turno A ou B a mais - sem 1	29956	12	34,0	136,1
<b>Turnos a mais na AC</b>				
Cada turno A ou B a mais - sem 4	29277	<b>691</b>	32,4	129,8
Cada turno A ou B a mais - sem 3	29507	461	32,9	131,8

O ganho apresentado é igual ao *”shadow price”* (ou *“dual price”*) de cada variável, ou seja, de quanto a função objetivo é melhorada (diminui) *a cada unidade aumentada* na variável analisada.

Veja que têm-se maiores ganhos para um aumento de turnos na semana 4, o que já era esperado. Na linha de embalagem AC, teve-se maior ganho. Em segundo lugar houve turnos “dia” na 222, e em terceiro lugar, o aumento de turno C nesta última máquina.

Note que as três opções trazem a mesma redução de inventário (129,8 = 1558 ton). Isto é devido às duas linhas terem a mesma vazão.

### 6.7.1. Alternativa proposta

Com as idéias acima em mente, pode-se fazer uma sugestão de investimento baseadas na sensibilidade adquirida. A questão levantada seria: “E se mais uma linha de 222 fosse adquirida?”

O modelamento é flexível para tal e uma nova linha foi instalada, a 222-4 com somente turnos A e B. Devolveu-se as duas equipes de AC que trabalhavam na linha 4 na semana 4. Veja os resultados:

**Tabela 6.6 – Análise para uma nova linha 222**

Opção	FO (US\$)	Ganho (\$)	Inv Médio	Inv Total
Com 222-4	20652	9316	12,5	50,1

Há uma redução bem considerável com relação à solução ótima encontrada de US\$ 9316 por mês, totalizando **US\$ 111790** ao ano. Quanto ao inventário total, tem-se uma redução de  $79,7 = 956$  ton.

Pode-se avaliar financeiramente a instalação de uma nova linha com base neste estudo e determinar se o ganho citado acima compensa o investimento.

Veja na fig. 6.4 que se conseguiu atingir uma melhoria na flexibilidade total da planta. Lembre-se da configuração inicial e compare com esta. Note que a capacidade de produção acompanha a demanda, tentando se ajustar a ela. Não há mais uma linha reta no gráfico. A manufatura mais enxuta gerou ganhos em redução de inventário e redução de trabalho desnecessário.

## **7. Conclusões e recomendações**

Este trabalho visou a aplicação de novos métodos que possibilitem tornar os sistemas produtivos com demanda altamente desbalanceada mais enxutos, visando a sincronização dos parâmetros envolvidos e a possível redução de estoques e custos, ao mesmo tempo, mantendo excelentes níveis de serviço.

Note que é necessário um certo cuidado quando tratamos do tema manufatura enxuta. Na segunda metade do séc.XX, os holofotes da engenharia de produção foram todos direcionados para o sucesso da Toyota, quando esta mostrou ao mundo um sistema produtivo nunca visto e que estava colhendo excelentes resultados em qualidade, custos e serviço de seus produtos.

Sem dúvida, é um espelho para muitas empresas que deve ser pensado com bom senso, levando em consideração o tipo de produto, sistema de produção, cliente, demanda, cultura dos trabalhadores e ambiente de trabalho. Notemos que neste trabalho, deu-se um cenário diferente do presenciado pelas empresas japonesas e americanas, o cenário da alta sazonalidade mensal presenciada nos países da América latina. O desafio torna-se, então aplicar as técnicas enxutas que trarão benefícios para as empresas que experimentam este cenário.

No capítulo 2, apresentou-se brevemente os conceitos da manufatura enxuta os quais deve-se manter em mente para que se tenha um bom trabalho desenvolvido. O valor agregado, neste caso, está no serviço e base de custos que o produto oferece ao consumidor. Estoques não geram valor agregado e o estado ideal é que se trabalhe sem estoques, evitando este desperdício. Para isso, é necessário

que o sistema esteja em constante avanço, assim os estoques podem ser reduzidos gradativamente. Deve-se buscar a forma “puxada” de se trabalhar, com rapidez de resposta e algumas soluções possíveis estão descritas nos capítulos 4 e 5.

O método “Produzir para o Mínimo” é válido para o cenário descrito, porém pode ser considerado para outros cenários com característica de sazonalidade em que não há capacidade suficiente para suprir a demanda e é necessária a construção de estoques por antecipação.

A otimização de capacidade é uma análise muito particular dos sistemas de produção. Cada sistema possui diferentes restrições as quais se pode adicionar ou retirar do modelo desenvolvido neste trabalho, porém captar a idéia principal expressa no modelo pode ser o primeiro passo para o desenvolvimento da ferramenta de otimização aplicável ao escopo do leitor.

***Referências bibliográficas***

1. WINSTON, Wayne L. Operations Research: Applications and Algorithms. Ed.2005. Thomson Learning, 2005. 1200 p. ISBN: 0534423620.
2. Hax, Arnaldo C. , Candea, Dan. Production and Inventory Management. Prentice-Hall, 1984. 513p. ISBN 0137248806. Englewood Cliffs, NJ.
3. WOMACK, James P., JONES, Daniel T. : Lean thinking : banish waste and create wealth in your corporation, 2004. 350p. ISBN: 0684810352. Simon & Schuster, New York, NY
4. SHINGO, Shigeo. A Revolution in Manufacturing and the SMED System. Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, Norwalk, Connecticut, 1985.