

Luiz Henrique Santos Oliveira

**PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO NA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Trabalho de formatura apresentado
À Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do
Diploma de Engenheiro de Produção

São Paulo
2011

Luiz Henrique Santos Oliveira

**PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO NA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Trabalho de formatura apresentado
À Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do
Diploma de Engenheiro de Produção
Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio de Mesquita

São Paulo
2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira, Luiz Henrique Santos

**Planejamento agregado da produção: um estudo de caso
na indústria têxtil / L.H.S. Oliveira. -- São Paulo, 2011.
p.**

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

1. Planejamento da produção 2. Programação linear I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

À minha mãe pelo carinho, atenção e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Ao meu irmão José Eduardo pelo companheirismo e alegrias.

Ao meu amigo Paulo Barros pelo exemplo de vida.

Ao professor Mesquita pela atenção e tempo despedido com minha orientação durante a elaboração desse trabalho.

Aos meus amigos Gustavo Figueiredo e Marco Migliosi pela ajuda nas discussões sobre o planejamento, possibilitando a elaboração desse projeto.

Aos demais amigos da Tavex, Ana, Nelson, Lazaro, Ronaldo, Maria José e todas as demais pessoas que contribuíram para o ótimo ambiente de trabalho que eu encontrei na empresa.

À minha namorada Beatriz por ter estado sempre presente e feito destes últimos dois anos os mais felizes da minha vida.

RESUMO

O planejamento agregado da produção (nível tático) tem importância acentuada nas empresas de manufatura, pois possibilita a correta adequação dos recursos produtivos de médio prazo. Este trabalho apresenta um modelo quantitativo para planejamento agregado da produção de uma indústria têxtil através da utilização de técnicas de pesquisa operacional. O processo produtivo é modelado com dois estágios e o modelo contempla múltiplas famílias de produtos e múltiplas localidades com a finalidade de minimização do custo total de produção. O modelo de programação inteira, inicialmente proposto, é utilizado de forma conjunta com sua respectiva formulação linear que serve de limitante inferior para o valor da função objetivo. O modelo linear é baseado no modelo clássico de planejamento agregado considerando-se as peculiaridades da indústria têxtil. Os ganhos no tempo de elaboração do plano agregado de produção e a obtenção de cenários otimizados de operação possibilitam ganhos qualitativos nas soluções elaboradas pela equipe de planejamento.

Palavras-chave: Planejamento Agregado da Produção. Indústria Têxtil. Programação Linear. Programação Linear Inteira Mista.

ABSTRACT

Aggregated planning of production (on tactical levels) has great importance in manufacturing companies, for it allows to correctly assess mid-term productive resources. This project presents a quantitative model for planning the aggregated production of a textile company using operations research techniques. The productive process is modeled in two stages and considers multiple product families and multiple locations in order to minimize production cost. The integer model originally proposed is used conjugated with its respective linear formulation, which serves as a lower bound limit for the objective function. The linear model is based on the classic aggregated planning model considering the textile industries' peculiarities. The gains in time from elaborating the aggregated production plan and obtaining optimized sceneries make possible qualitative gains in the solutions generated by the planning team.

Key words: Aggregated Production Planning. Linear Programming. Mixed Integer Linear Programming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Unidades fabris Tavex Corporation.....	15
Figura 2 - Organograma resumido do grupo Tavex	16
Figura 3 - Evolução dos tecidos sintéticos	17
Figura 4 - Participação do grupo Tavex no mercado mundial de tecidos planos.....	19
Figura 5 - S&OP no processo de planejamento global (adaptado Corrêa <i>et al.</i> , 1997).....	26
Figura 6 - Esquema de agregação de produtos (Shapiro 2001).....	29
Figura 7 - Classificação dos modelos de programação pelo tipo de custo	32
Figura 8 - Cadeia produtiva do setor têxtil.....	37
Figura 9 - Fluxo de produtos entre os mercados	40
Figura 10 - Fluxograma do processo produtivo para tecidos planos.....	41
Figura 11 - Esquema da logística de produção América do Norte.....	42
Figura 12 - Organização da equipe de planejamento Tavex Corporation	43
Figura 13 - Fluxograma de validação do PAP América do Norte.....	45
Figura 14 - Horizonte de planejamento do PAP	47
Figura 15 – Revisões do PAP.....	48
Figura 16 - Estoque x demanda em 2010 no Sistema América do Norte.....	50
Figura 17 - Esquema do processo produtivo utilizado no modelo	54
Figura 18 - Esquema do método de solução.....	77
Figura 19 - Alocação de tempo de tear no modelo V0.....	78
Figura 20 - Comparação do perfil do estoque real 2010 x V1	82
Figura 21 - Resposta do programa MINITAB para equação de custo unitário.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estrutura hierárquica dos produtos.....	28
Tabela 2 - Exemplos de estoque de segurança para América do Norte	50
Tabela 3 - Índices do modelo	55
Tabela 4 - Parâmetros do modelo.....	55
Tabela 5 - Variáveis do modelo	56
Tabela 6 - Velocidades médias de produção.....	67
Tabela 7 - Previsão de demanda para o mercado americano (km)	68
Tabela 8 - Previsão de demanda da Europa (km)	69
Tabela 9 - Estoques iniciais México	70
Tabela 10 - Fator de rendimento	72
Tabela 11 - Horas de trabalho disponíveis	73
Tabela 12 - Horas disponíveis nos teares	74
Tabela 13 - Levantamento dos custos do modelo	75
Tabela 14 - Detalhamento do custo (Modelo V0).....	79
Tabela 15 - Resumo das versões para o modelo de otimização	80
Tabela 16 - Comparativo entre custo total (V0 x V1).....	81
Tabela 17 - Estoque real 2010 x estoque versão v1.....	81
Tabela 18 - Tamanho do lote x Erro da solução em V1.....	83
Tabela 19 - Custo unitário em função da demanda em V0.....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DPA	<i>Depósito de Produto Acabado</i>
EBITDA	<i>Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization</i>
IEMI	<i>Instituto de Estudos e Marketing Industrial</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MPS	<i>Master Production Schedule</i>
MRP	<i>Material Requirements Plan</i>
PAP	<i>Plano Agregado de Produção</i>
PO	<i>Planejamento Orçamentário</i>
SFC	<i>Shop Floor Control</i>
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i>
S&OP	<i>Sales and Operations Planning</i>

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA	3
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. A empresa	13
1.1.1. <i>História</i>	13
1.1.2. <i>Estrutura da organização</i>	16
1.2. Mercado	16
1.3. Definição do problema	19
1.4. Objetivo do trabalho	20
1.5. Estrutura do trabalho	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. As principais abordagens para sistemas de produção	23
2.2. Modelagem para planejamento agregado	26
2.2.1. <i>Métodos para absorção da flutuação da demanda</i>	27
2.2.2. <i>Configuração dos custos relevantes</i>	29
2.2.3. <i>Classificação dos modelos</i>	30
2.2.4. <i>Detalhamento dos modelos de custo linear</i>	32
3. ANÁLISE DO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO	37
3.1. Processo produtivo	37
3.1.1. <i>Fiação</i>	38
3.1.2. <i>Tecelagem</i>	38
3.1.3. <i>Acabamento</i>	39
3.2. Logística de produção Tavex Corporation	40
3.2.1. <i>Sistema produtivo América do Norte</i>	42
3.3. Organização do Planejamento Tavex	43
3.4. Planejamento agregado da produção	44
3.4.1. <i>Modelo atual</i>	44
3.4.2. <i>Horizonte de planejamento e período de revisão</i>	46
3.4.3. <i>Previsão da demanda</i>	47
3.4.4. <i>Política de estoques e nível de operação</i>	49
3.5. Análise crítica do processo de PAP	50
4. MODELAGEM DO PLANO AGREGADO DE PRODUÇÃO	53
4.1. Premissas	53

4.2.	Descrição das variáveis e parâmetros.....	55
4.3.	Modelo	58
4.3.1.	<i>Função Objetivo</i>	61
4.3.2.	<i>Restrições</i>	61
5.	LEVANTAMENTO DOS DADOS	65
5.1.	Definição das famílias	65
5.2.	Velocidade de produção dos tecidos	66
5.3.	Demandas	68
5.4.	Estoques	70
5.5.	Fator de rendimento.....	71
5.6.	Horas disponíveis nos teares.....	73
5.7.	Limites de transferência	74
5.8.	Custos	74
6.	Aplicação do modelo de planejamento agregado	77
6.1.	Modelo com relaxamento das restrições de lote mínimo	78
6.2.	Modelo com inclusão das restrições de lote mínimo.....	79
6.3.	Análise quantitativa do modelo proposto.....	80
6.4.	Análise de sensibilidade	82
6.4.1.	<i>Análise sensibilidade do lote mínimo.....</i>	83
6.4.2.	<i>Análise sensibilidade da demanda</i>	84
7.	Conclusão	87
7.1.	Síntese.....	87
7.2.	Análise crítica	88
7.3.	Desdobramentos	89
7.4.	Considerações finais.....	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas matemáticas nos processos de planejamento da produção pode levar a empresa a ganhos no tempo de processamento e na qualidade da solução que se traduzirão em maior agilidade dos processos envolvidos, gerando um diferencial competitivo para a organização, que nos moldes atuais de concorrência se mostra imprescindível para a manutenção de qualquer negócio.

Este trabalho está sendo realizado em uma indústria têxtil de grande porte e tem como principal objetivo de explorar o uso de técnicas de pesquisa operacional para propor um modelo de otimização do processo de planejamento agregado da empresa.

A ideia para este trabalho nasceu durante o estágio realizado pelo autor na empresa Tavex Corporation no ano de 2009. Em 2011 esta ideia está sendo colocada em prática para as unidades fabris situadas no México sob a forma de uma consultoria externa. O coordenador de planejamento corporativo, Sr. Gustavo Figueiredo, foi o principal contato com a empresa durante a execução do presente trabalho. A equipe de planejamento central comanda as operações das diversas fábricas a partir do escritório central da empresa em São Paulo, o que facilitou o contato para obtenção de dados e validação do modelo.

1.1. A empresa

A Tavex Corporation é o resultado da fusão de duas grandes empresas do setor têxtil, A Santista Têxtil e a Tavex Algodonera. Como a operação da Tavex Corporation no continente americano é fruto exclusivamente da estrutura herdada da Santista Têxtil, o presente trabalho mostra apenas a trajetória histórica desta parte da empresa.

1.1.1. *História*

A história da Santista têxtil, contada no livro comemorativo dos seus 75 anos – Santista Têxtil, uma história de inovações (2004) – tem início em 1929 quando a S.A. Moinho Santista, empresa controlada pela Bunge, inaugura a Fábrica de Tecidos Tatuapé S.A. localizada, como sugere o nome, no bairro do Tatuapé. Como um empreendimento da S.A. Moinho Santista a Fábrica de Tecidos Tatuapé e as outras unidades têxteis, que surgiram em

seguida, tornam-se conhecidas desde os anos 30 com a denominação genérica de Santista Têxtil, para se diferenciar das demais atividades do moinho.

Nos anos seguintes a Santista têxtil expande sua operação e diversifica suas atividades, atuando na produção de tecidos para roupas profissionais, linha lar (cama, mesa e banho), camisaria e tecidos denim. No ano de 1992, 63 anos após sua criação, a Santista Têxtil inicia um grande projeto de reestruturação que tem como principais consequências o foco na divisão de vestuários e a fusão com a divisão têxtil da São Paulo Alpargatas no ano de 1994, criando a Alpargatas-Santista Têxtil (AST).

A AST dando prosseguimento ao seu plano de expansão adquire no ano de 1995 a argentina GRAFA S.A (Grandes Fábricas Argentinas) e no ano de 1999 a chilena Machasa S.A., tornando-se o maior parque têxtil da América Latina com oito fábricas localizadas em três países e a primeira multinacional brasileira do setor têxtil.

No ano de 2003 a Camargo Correia assume o controle acionário da empresa. A estratégia assumida pela Camargo Correia leva a uma nova fusão com uma empresa espanhola, a Tavex Algodonera (fundada na Espanha em 1846). O produto desta fusão, a Tavex Corporation, passa a figurar como a líder mundial em denim.

A Tavex Corporation conta atualmente com mais de 5.000 funcionários, está presente em mais de 50 países, com um total de nove fábricas em três continentes e uma capacidade de produção anual da ordem de 190 milhões de metros e uma receita da ordem de 450 milhões de euros. A Tavex Corporation é dividida entre Tavex América do Sul, controladora das operações no Brasil e Argentina, e Tavex Espanha, responsável pelas operações das demais unidades fabris. A Tavex possui as seguintes unidades:

Argentina: uma unidade fabril em Tucumán.

Brasil: total de quatro fábricas sendo uma unidade em Americana – SP, uma unidade em Tatuí – SP, uma unidade em Socorro – SE e uma unidade em Paulista – PE.

Espanha: uma unidade fabril em Valencia.

Marrocos: uma unidade fabril em Settat.

México: Um total de duas fábricas sendo uma em Tlaxcala e outra em Puebla.

A Figura 1 mostra a disposição das unidades fabris no globo. Este trabalho tem como objetivo o estudo do processo de planejamento agregado das unidades fabris situadas no México.

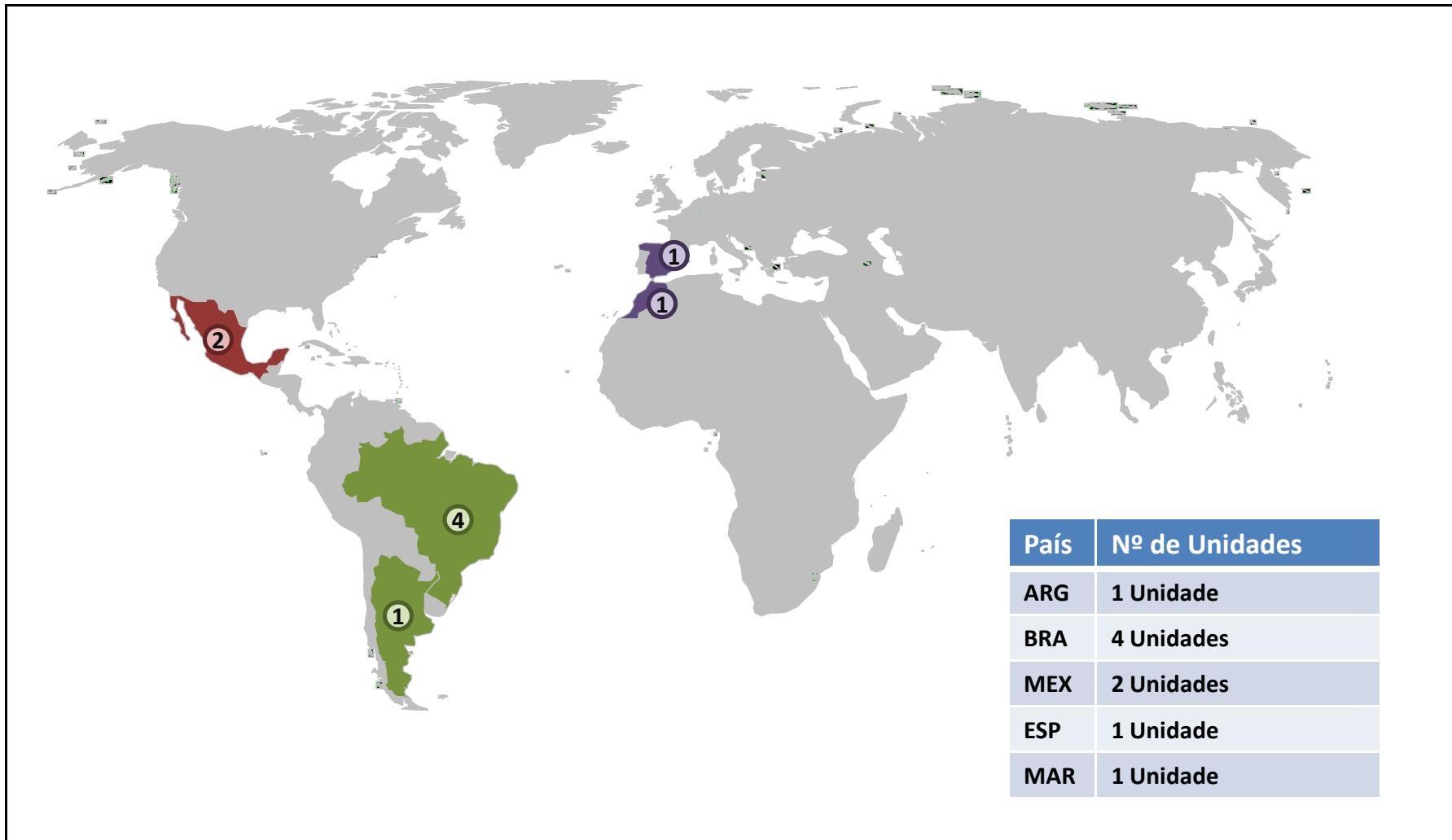


Figura 1 - Unidades fabris Tavex Corporation

1.1.2. Estrutura da organização

A empresa possui uma estrutura bastante convencional de design organizacional e se enquadra perfeitamente no modelo de burocracia mecanizada apresentado por Mintzberg (1992), como principais características pode-se citar a centralidade de comando, alta especialização das tarefas e uma estrutura altamente departamentalizada.

A estrutura funcional adotada pela organização apesar de favorecer a eficiência do núcleo operacional provoca diversos problemas de integração entre seus diversos departamentos principalmente entre as funções administrativas que não estão ligadas diretamente à operação.

Na Figura 2, apresenta-se um organograma resumido contemplando as principais divisões na hierarquia do grupo Tavex Corporation.

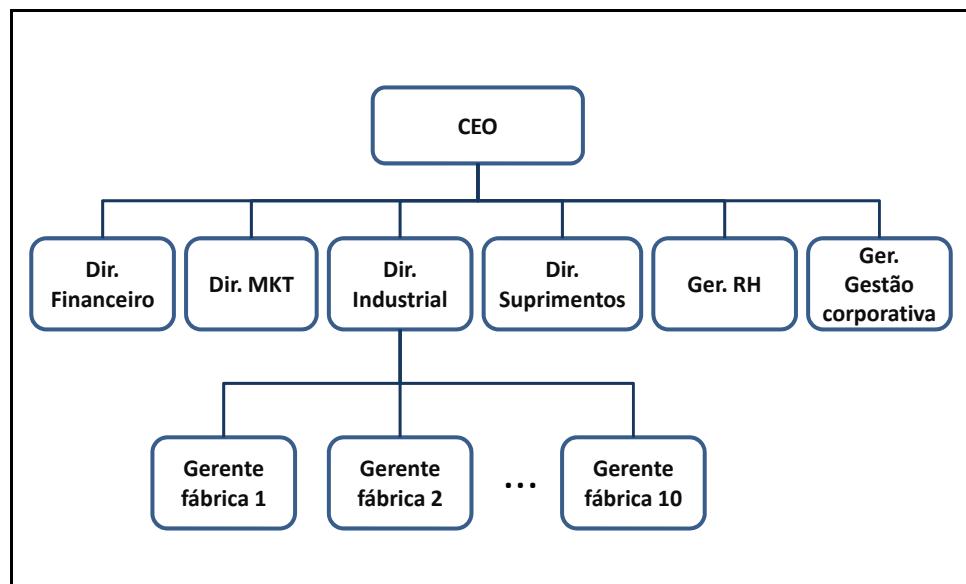


Figura 2 - Organograma resumido do grupo Tavex

1.2. Mercado

De acordo com estudo publicado pelo IEMI (2007), o mercado de produtos têxteis pode ser dividido em dois grandes grupos, o de fibras naturais e o de fibras sintéticas. O mercado de fibras sintéticas tem mostrado uma taxa de crescimento bastante acelerada, passando de

menos de 20% do mercado na década de 1950 para quase 60% do mercado no ano de 2006. A Figura 3 mostra a evolução da participação das fibras sintéticas no mercado têxtil mundial.

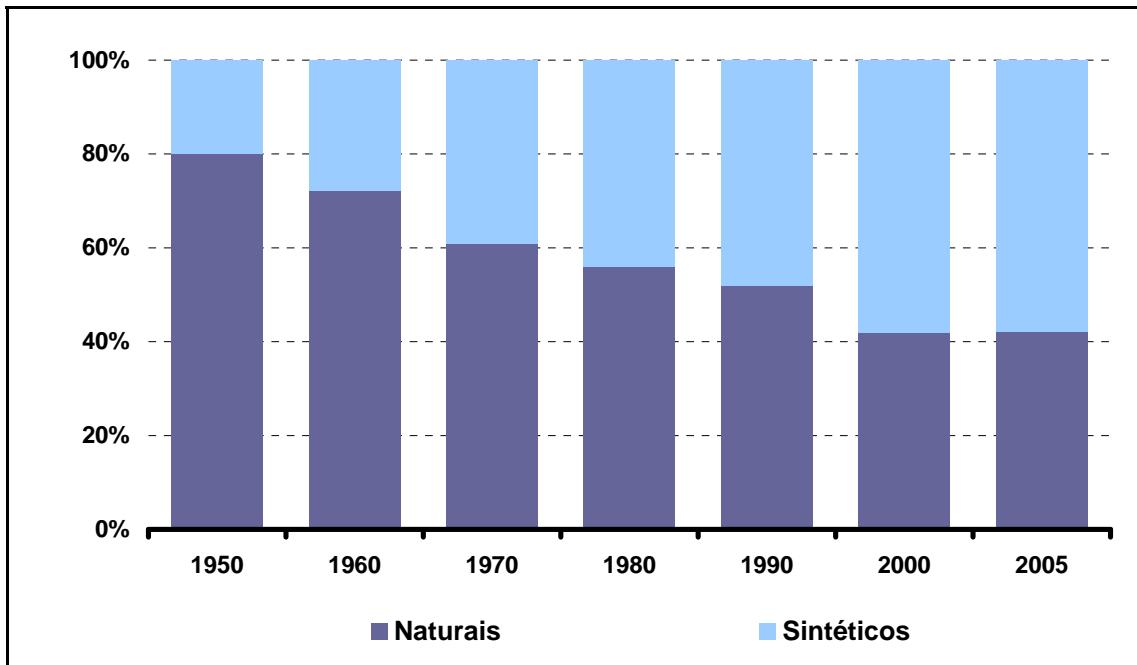


Figura 3 - Evolução dos tecidos sintéticos

A Tavex Corporation atua mais fortemente no mercado de fibras naturais, tendo as fibras sintéticas apenas uma pequena participação na receita e no volume de produção.

A cadeia produtiva do setor têxtil pode ser dividida entre fibras/filamentos, têxteis e confecções. Hoje a Tavex Corporation tem participação nos seguimentos de fibras e na produção de têxteis.

A empresa é produtora de tecidos planos (tecidos produzidos pelo processo de tecelagem), sendo dividida em duas linhas principais de negócios: *Jeanswear* (tecidos para roupas de estilo casual e esportivo) e *Workwear* (tecidos para roupas profissionais, uniformes). O produto final são rolos de tecido para confecções, onde a metragem mais comum é a de 100 metros de comprimento por 1,60 metros de largura (existem outros tamanhos possíveis de rolos, por exemplo, 25m). A matéria-prima básica para todos os negócios da empresa é o algodão, mas utiliza-se em menor escala fibras sintéticas puras ou misturadas com algodão na produção de artigos da linha de negócio *Workwear*. A produção

de ambas as linhas de negócio está dividida em dois tipos básicos de produto: Denim e *Sportswear*.

- **Denim:** é o tecido popularmente conhecido como jeans, é fabricado 100% de algodão, sua principal característica é ter os fios transversais tintos (chamados de trama) e fios horizontais crus (chamados de urdume)
- **Sportswear:** é o tecido conhecido como sarja, é oferecido em diversas cores e, assim como o denim, também é fabricado 100% de algodão, porém todos os seus fios são tintos.

Dentro da linha Denim os tecidos são classificados nas categorias *Premium*, *Authentic* e *Standard*, de acordo com sua tecnologia, inovação e valor agregado.

- **Premium:** são produtos que possuem um processo de fabricação mais complexo, tecnologia diferenciada e são percebidos como produtos altamente inovadores pelo mercado. Estes produtos são vendidos ao mercado de luxo, possuem preço médio de R\$ 18 por metro de tecido e margem bruta média de 20%.
- **Authentic:** são produtos de processo de fabricação complexo, mas apresentam uma carga menor de inovação. Seu público alvo também é o mercado de luxo e o preço médio é de R\$ 13 por metro de tecido com margem bruta média de 15%.
- **Standard:** são produtos que utilizam tecnologia já consolidada e menor número de processos na sua fabricação. São vendidos para o mercado popular, seu preço médio é de R\$ 5 por metro de tecido e sua margem bruta média fica abaixo dos 10%.

A Tavex está apostando na produção de denim de maior valor agregado (usado na confecção de vestuário jeans para o segmento Premium) por conta da quase inexistente concorrência de fornecedores na China, que fabrica denim básico. A Figura 4 apresenta os gráficos de participação no mercado de acordo com relatório interno Tavex (2010).

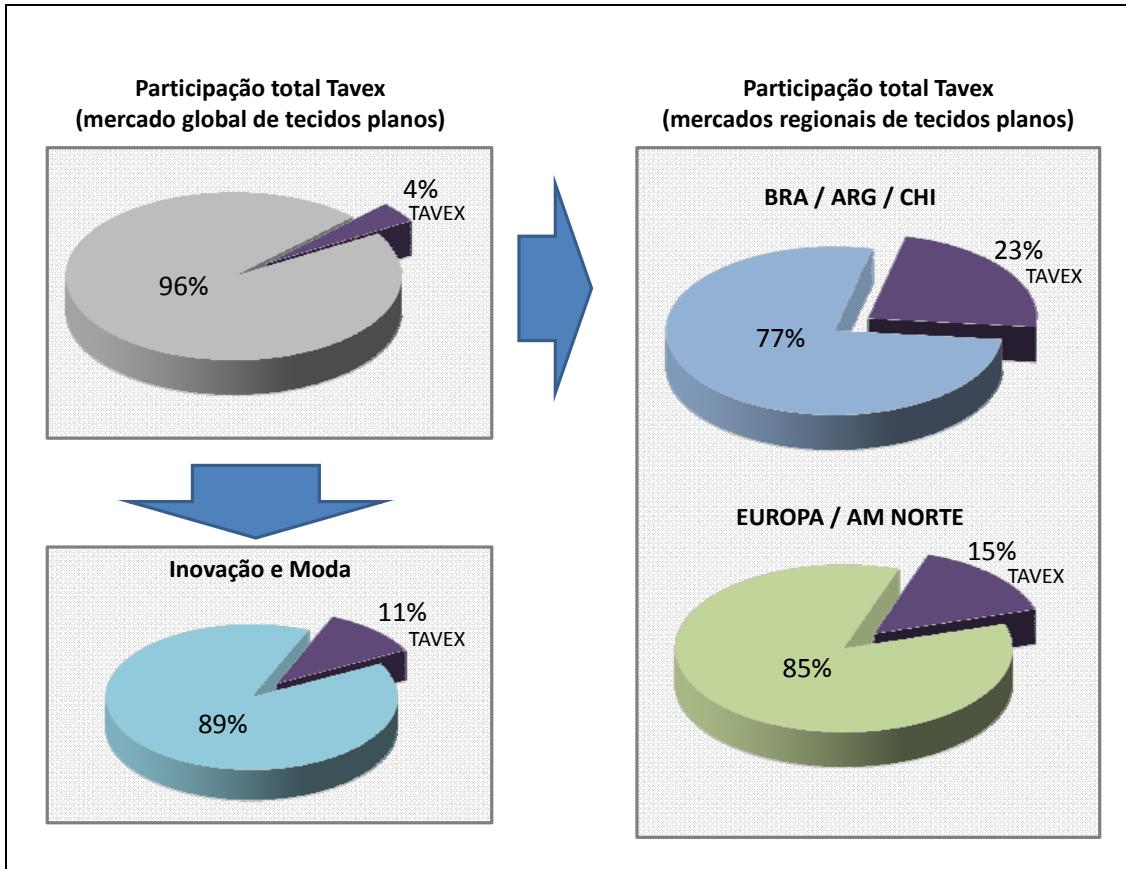


Figura 4 - Participação do grupo Tavex no mercado mundial de tecidos planos

1.3. Definição do problema

O longo período de tempo gasto na elaboração dos planos agregados de produção tem se mostrado o principal entrave para a melhora qualitativa do processo de elaboração do plano agregado da produção (PAP). O contexto atual de alta competitividade demanda a otimização do uso de recursos produtivos e a redução dos custos de produção, mas o processo atual de elaboração do PAP não possibilita que os gestores analisem de forma sistêmica todas as variáveis e cenários disponíveis.

Esse problema é especialmente agravado na equipe de planejamento da região América do Norte, devido ao baixo nível de informatização do processo e ao número reduzido de colaboradores na equipe de planejamento central da região. No modelo atual de elaboração do PAP o planejamento utiliza apenas planilhas Excel como ferramental, onde pelo processo de tentativa e erro se definem os níveis de produção, quantidade de transferências entre as fábricas, níveis de mão de obra e estoque.

O PAP, para as plantas da América do Norte, abrange um horizonte de planejamento de 15 meses e cada uma das duas fábricas envolvidas no processo produz mais de 30 famílias de produtos (tecidos planos – denim/sarja), cada uma dessas famílias pode ser confeccionada em diferentes tipos de teares com um consumo específico de tempo. O método atual e número de variáveis envolvidas no processo de elaboração do plano agregado inviabiliza a obtenção de resultados ótimos.

Além do problema de alocação ótima dos recursos o modelo atual, devido ao alto consumo de tempo na sua elaboração, gera problemas relacionados à periodicidade de revisão. Hoje a equipe de planejamento trabalha com um total de três PAPs no ano, uma primeira elaboração completa e mais duas revisões, uma a cada trimestre. As revisões apresentam dois problemas complementares, primeiro a falta de detalhamento e segundo o encurtamento do horizonte de planejamento.

A falta de detalhamento é fruto do aproveitamento dos dados gerados na versão anterior. Na elaboração das revisões do PAP são atualizados apenas os dados oriundos da revisão na previsão de vendas e então são calculados os ajustes nas variáveis de produção afetadas. A revisão nas vendas ao invés de gerar uma nova previsão abarcando um novo horizonte de 15 meses se limita à atualização dos meses restantes do PAP original, ocasionando o encurtamento do horizonte de análise contemplado pela revisão do PAP.

1.4. Objetivo do trabalho

Com base nas questões expostas acima, conclui-se que seria útil para a empresa desenvolver um método de elaboração do plano agregado de produção que possibilitasse considerar o problema de alocação dos recursos de forma geral englobando as duas fábricas do México (como o realizado pelo planejamento central), mas que também possibilitasse a consideração no nível mais específico abordando a limitação de tempo em cada tear, como realizado pelo planejamento das fábricas.

Portanto, este trabalho tem como objetivo a proposição de um modelo matemático que possibilite a resolução do problema de planejamento agregado da Tavex na tentativa de melhorar o processo de planejamento agregado e liberar os recursos humanos da equipe de planejamento central e das fábricas para as outras atividades da área.

A elaboração do modelo será baseada nos fundamentos de pesquisa operacional e terá como objetivo principal a otimização dos custos de estocagem, produção e transferência de produtos semi elaborados entre as fábricas.

1.5. Estrutura do trabalho

No primeiro capítulo são apresentadas a empresa e a uma breve descrição do problema a ser abordado no presente trabalho. Para a caracterização da empresa são apresentados dados referentes à sua história, estrutura atual, mercado de atuação e sua estratégia competitiva. Para a caracterização do problema são apresentados o método atual de elaboração do PAP e as variáveis envolvidas no processo, possibilitando o entendimento de suas causas raízes e de sua relevância para a empresa. Por último é apresentado o escopo do trabalho em função da definição do problema.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos tópicos relevantes para a solução do problema alvo deste trabalho. Seu objetivo é apresentar um ferramental que possa guiar a análise e orientar na escolha da solução mais adequada.

O capítulo 3 apresenta o problema de elaboração do PAP de forma mais detalhada, onde são analisados o processo produtivo, a logística de produção, a estrutura da equipe de planejamento e por fim o processo de planejamento agregado da empresa.

O capítulo 4 tem como objetivo a apresentação de uma proposta de modelo para otimização do plano agregado de produção do conjunto de fábricas da América do Norte. O modelo é composto por uma função objetivo e um conjunto de restrições representando as limitações reais do processo produtivo.

O capítulo 5 apresenta os dados utilizados para rodar o modelo de planejamento agregado. Os dados apresentados são: Definição das famílias, velocidades de produção, demanda, estoques iniciais, rendimento, horas disponíveis para operação, limites de transferência e custos.

O capítulo 6 tem como objetivo a apresentação dos resultados do trabalho, onde são definidos dois modelos, um primeiro com restrições de tamanho de lote (programação linear mista) e um segundo com o relaxamento dessas restrições (utilizado como *lower bound*). Também é apresenta uma análise de sensibilidade para a demanda e para o lote de produção.

Por fim, o capítulo 7 apresenta uma análise crítica do trabalho e uma proposta para desdobramentos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo tem por objetivo apresentar alguns dos principais recursos teóricos disponíveis na área de pesquisa operacional utilizados para a análise e solução de problemas de produção que possam ser úteis na elaboração do presente trabalho.

São abordados neste capítulo os principais modelos de gestão de produção pertinentes ao caso em questão e os desdobramentos que as diversas abordagens produzem na construção de um modelo matemático.

2.1. As principais abordagens para sistemas de produção

Os sistemas de produção são concebidos para uma gestão eficiente de todo o fluxo de produtos, desde o recebimento da matéria-prima até a entrega do produto final (Hax e Candea, 1984) e de acordo com os autores no processo de gestão da produção existem alguns itens que devem ser observados independentemente da abordagem adotada para o modelo, esses elementos representam tanto itens relacionados com a compra e a gestão da aquisição de material quanto aos custos envolvidos na produção e na distribuição dos produtos, ou seja, itens relacionados às restrições e aos custos envolvidos no processo de produção.

Arnold (1999) apresenta duas dimensões básicas envolvidas nos sistemas de produção: **prioridade** (demanda) e **capacidade** (recursos). Ele enfatiza que o balanceamento entre essas duas dimensões é fundamental para um sistema apresentar funcionamento satisfatório e que isso só é possível através de sistemas de gestão eficientes.

O balanceamento entre os diversos fatores envolvidos no processo produtivo gera diversos problemas de decisão difíceis de gerenciar que de acordo com Hopp e Spearman (2008) devem ser quebrados em subproblemas menores e que isso pode ser feito através da criação de níveis hierárquicos.

Anthony (1965) apud Hax e Candea (1984) propõe três possíveis níveis de estrutura para suporte à decisão: O estratégico, o tático e o operacional. Abaixo apresentamos o detalhamento de cada um desses níveis:

- a) **Estratégico:** O nível estratégico engloba as decisões mais gerais de uma organização como a quantidade de unidades fabris, a localização dessas unidades, a capacidade de cada unidade e a tecnologia do maquinário utilizado para operação.

As decisões tomadas nesse nível são as que envolvem a maior soma de capital e as mudanças de rumo estratégico geralmente são de longo prazo.

- b) **Tático:** As decisões de nível tático são aquelas que asseguram a melhor utilização dos recursos disponíveis na organização como o nível de operação das unidades fabris, nível dos estoques e a utilização dos diversos recursos tais como de mão-de-obra empregada, *marketing* e recursos administrativos. As decisões de nível tático geralmente contemplam um horizonte de médio prazo e envolvem uma quantidade de capital bem menor que as decisões de nível estratégico.
- c) **Operacional:** As decisões de nível operacional são aquelas ligadas diretamente a operação e de acordo com Anthony podem ser definidas da seguinte forma: “o processo de assegurar que tarefas específicas sejam executadas de forma eficaz e eficiente”.

Arnold (1999), por sua vez, divide o sistema de produção em cinco fases distintas, cada uma delas com um horizonte e nível de detalhamento próprio. Sendo elas:

- a) **Plano estratégico de negócios:** Declaração dos principais objetivos e metas da empresa, sua elaboração é de responsabilidade da cúpula estratégica e seu horizonte contempla vários anos.
- b) **Plano de produção:** Define as quantidades de produtos fabricados, os níveis de estoque e a necessidade de recursos que serão empregados na produção. Olha os produtos como famílias e tem horizonte entre seis e dezoito meses.
- c) **Programa mestre de produção (MPS – *Master Production Schedule*):** Detalha o plano de produção em itens individuais e seu horizonte estende-se de três a dezoito meses.
- d) **Plano de necessidades de materiais (MRP – *Material Requirements Plan*):** detalha a necessidade de recursos necessários ao MPS. O horizonte de planejamento estende-se pelo menos à duração dos *lead times* combinados de compra e fabricação.
- e) **Controle da atividade de compras e produção (SFC – *Shop Floor Control*):** Representa a fase de implementação e controle de fluxo das atividades. Seu horizonte é muito pequeno podendo variar entre alguns dias até um mês. Nessa fase os planos são inspecionados e revisados diariamente.

O tempo (horizonte de planejamento) é a dimensão básica nas formulações de Anthony (1965) e de Arnold (1999), Hopp e Spearman (2008) propõem além do tempo outras possíveis dimensões de desagregação para os problemas de balanceamento de demanda e recursos, sendo as três principais:

- a) Processos:** Muitas empresas ainda têm sua organização baseada nos processos produtivos e nessas situações pode ser viável o uso de sistemas de gestão separados para cada tipo de processo.
- b) Produtos:** Devido à crescente necessidade de customização da produção, encontramos facilmente empresas produzindo enormes quantidades de produtos e componente. Para esse tipo de empresa o gerenciamento baseado na agregação dos produtos em famílias pode representar ganhos significativos.
- c) Pessoas:** Podemos usar essa dimensão para o gerenciamento em ambientes onde o tempo de aprendizagem e as habilidades dos trabalhadores têm impacto direto no desempenho organizacional.

Corrêa e Corrêa (2005) afirmam que independentemente da abordagem adotada, a necessidade de planejamento prévio existe devido a um conceito intrínseco a todos os processos decisórios: a inércia. A inércia dos processos decisórios pode ser entendida como o tempo necessariamente decorrido entre a tomada de decisão propriamente dita e os efeitos dela decorrentes.

Para que os diversos níveis de desagregação da tomada de decisão contribuam em conjunto para o resultado da empresa é necessário um mecanismo que reintegre os diversos níveis desagregados, Corrêa *et al.* (1997) apresentam o S&OP (*sales and operation planning*) como o mecanismo responsável por essa reintegração vertical dos processos. Além da integração vertical o S&OP responde pela agregação horizontal de decisões de mesmo nível hierárquico. Na Figura 5 é apresentado o modelo onde podemos ver claramente o papel do S&OP no planejamento global da empresa.

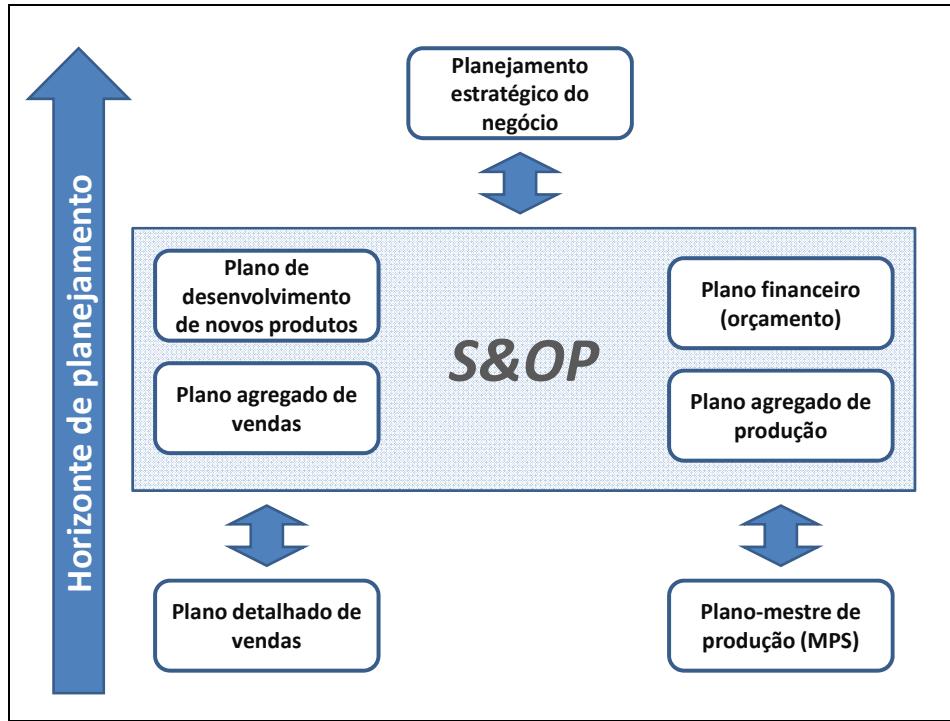


Figura 5 - S&OP no processo de planejamento global (adaptado Corrêa *et al.*, 1997).

Comelli *et al.* (2008) definem o S&OP como o balanceamento entre os níveis de venda e produção em um contexto de médio prazo, onde o horizonte de planejamento é de aproximadamente um ano. Nesse horizonte de planejamento a capacidade produtiva pode ser considerada como variável graças a recursos tais como horas extras, trabalho temporário, contratações e demissões ou ainda terceirização.

2.2. Modelagem para planejamento agregado

Para Magee (1958) o planejamento da produção é a tarefa de estabelecer limites ou níveis de operações de fabricação para o futuro. O planejamento da produção estabelece o quadro dentro do qual devem operar os programas detalhados de produção e os projetos de controle de estoque. Portanto, o objetivo do planejamento é estabelecer as definições relativas às características gerais das operações de fabricação no período planejado.

A maior parte dos sistemas de produção envolve tantas variáveis e deve contemplar tantos interesses que apenas a experiência dos gestores e os esforços de suas equipes podem não ser suficientes para uma correta abordagem do problema e para fazer a escolha mais acertada das decisões necessárias ao processo. Para contornar esse problema Hax e Candea

(1983) propõem que metodologias de pesquisa operacional sejam utilizadas para suportar as decisões dos gestores.

Anshen (1958) apud Hax e Candea (1984) salienta que os modelos são de grande importância no planejamento de nível tático, pois ajudam os gestores em diversos pontos sendo os principais:

- a)** Quantificar e utilizar os fatores intangíveis presentes no sistema de produção
- b)** Tornar rotineira a tomada de decisão baseada em uma visão sistêmica dos fatores relevantes
- c)** Manter um histórico das decisões e através de um mecanismo de realimentação incorporar correções nos erros de previsão anteriores.
- d)** Liberar os gestores para outras tarefas que não a rotina de elaboração do planejamento agregado, pois essa pode ser automatizada.

Nas próximas seções são apresentados os principais componentes que devem ser observados na elaboração dos planos de produção no nível tático e realizada uma breve revisão dos principais modelos matemáticos que suportam a elaboração desses planos.

2.2.1. *Métodos para absorção da flutuação da demanda*

Para a abordagem dos sistemas de produção no nível tático são utilizados diversos métodos para absorver as flutuações da demanda e estes métodos podem ser combinados para formar um grande número de alternativas para tratar esse problema, de acordo com Hax e Candea (1983) as principais estratégias são as seguintes:

- a) Mudar o nível da força de trabalho:** Para mudanças no nível de mão-de-obra disponível os gestores utilizam o recurso de admissões e demissões, os autores advertem para os problemas gerados pelo uso excessivo desse tipo de recurso.
- b) Fazer uso de horas extras ou contratação de terceiros:** Esse tipo de recurso é utilizado quando se mantém o nível da força de trabalho constante e se altera a força de trabalho disponível através de horas extras ou subcontratação.
- c) Utilizar estoques:** A absorção de demandas futuras pode ser realizada através do uso de acumulo de estoques em períodos de menor demanda. Nesse caso os gestores devem ponderar entre os custos envolvidos nas mudanças de taxa de produção e aqueles relativos ao acumulo de estoques.

- d) **Considerar atrasos nas entregas dos pedidos:** Os gestores podem trabalhar com a possibilidade de atraso nas demandas, mas nesse caso devem considerar os custos com possível perda de vendas e clientes.
- e) **Criação de linhas de produtos complementares:** Outra maneira para absorver as flutuações da demanda é a criação de linhas de produtos com demanda sazonal contrária à dos produtos base, gerando na média do horizonte de planejamento uma demanda geral mais ou menos constante.

A agregação de produtos em famílias, além do benefício principal descrito por Shapiro (2001), a redução das variáveis na modelagem, pode auxiliar na redução da incerteza sobre a demanda. De acordo com Corrêa e Corrêa (2005), quanto maior a agregação dos produtos menor o nível de erro associado à previsão, essa relação é conhecida como *risk pooling*.

Hax e Meal (1975) formularam um modelo de agregação de produtos baseado em três níveis: item, família e tipo. A Tabela 1 apresenta o detalhamento de cada um desses níveis.

Tabela 1 - Estrutura hierárquica dos produtos

	Nível de agregação	Características
Item	Nenhum	Sem nenhum tipo de agregação
Família	Grupo de itens individuais	Itens com custos de setup similares Processos de fabricação semelhantes
Tipo	Um grupo de famílias	Sazonalidade da demanda similar Tempo de produção semelhantes

Shapiro formula um esquema de consolidação baseado em níveis de agregação dos produtos, onde o nível decisório requerente (nível hierárquico onde a informação será utilizada) tem papel fundamental na construção das famílias. O esquema proposto por Shapiro é mostrado na Figura 6.

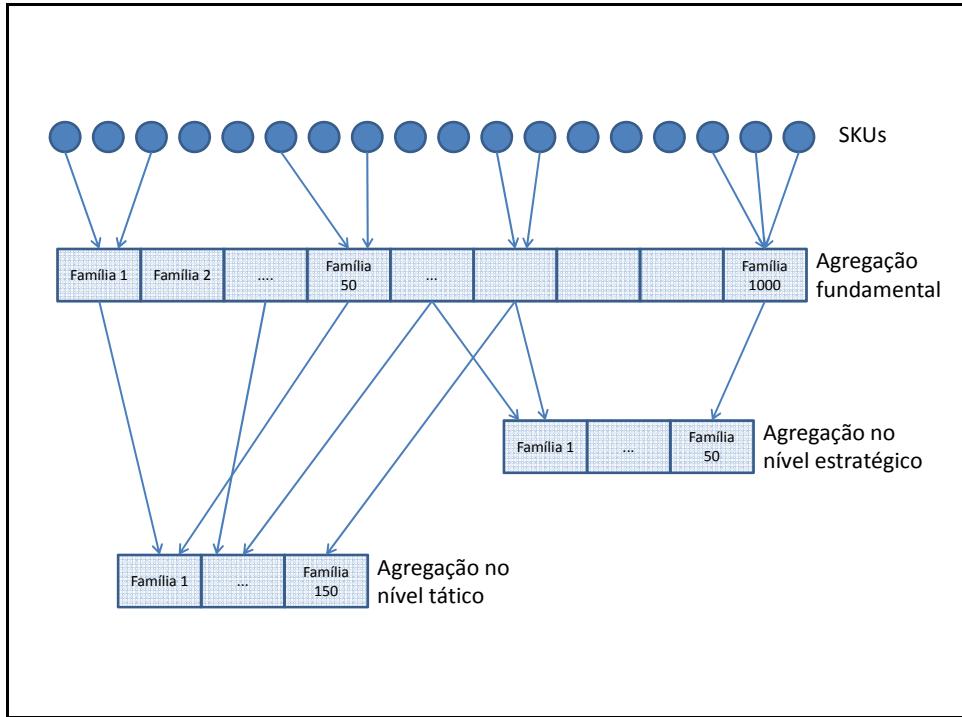


Figura 6 - Esquema de agregação de produtos (Shapiro 2001)

2.2.2. Configuração dos custos relevantes

McGarrah (1963) define custo *standard* como o valor em moeda corrente de materiais e serviços que possam ser consumidos ou usados no futuro. Apesar das empresas possuírem informações sobre o histórico de custos e elas serem muito úteis para os gestores, acionistas, investidores e outros interessados, elas não devem ser usadas como custo *standard*, pois usá-las dessa forma seria o mesmo que admitir que o comportamento dos custos futuros será o mesmo daquele registrado no passado. McGarrah argumenta que para se estabelecer os custos *standard* de maneira adequada é muito importante entender os conceitos e as dicotomias envolvidas nos custos das empresas, ele enfatiza quatro dicotomias básicas: entre os custos fixos versus custos variáveis; entre os custos que podem ser controlados e aqueles que não podem; custos incrementais contra custos irrecuperáveis e custo de oportunidade versus desembolsos (*out-of-pocket*).

De acordo com Hax (1978) os custos relevantes podem ser divididos da seguinte forma:

- a) **Custos básicos de produção:** São caracterizados pelos custos de material, custo de mão-de-obra e despesas gerais, geralmente essa categoria de custos é dividida entre custos fixos e variáveis.
- b) **Custos associados com mudança no nível de produção:** São os custos envolvidos na contratação, treinamento e demissão de pessoal.
- c) **Custo de estocagem:** O principal componente dessa categoria de custo é o custo de capital empatado, podemos mencionar também os custos com perdas, impostos, obsolescência e também o custo do processo de estocagem propriamente dito.
- d) **Custo com atraso nos pedidos:** essa categoria de custos tem caráter bastante subjetivo, pois envolve o cálculo de perdas de vendas e de clientes devido aos atrasos.

2.2.3. Classificação dos modelos

Existe um vasto leque de modelos usados para resolução dos problemas de planejamento agregado, Hax e Candea (1984) propõe uma classificação dos modelos baseada na estrutura de custos que compõe cada um deles. A divisão mais geral é feita entre modelos de custo linear, modelos de custo quadrático, modelos de custo fixo e modelos de custo não linear. A seguir é apresentada uma breve descrição de cada um dos tipos de modelos considerados úteis para resolução de problemas de planejamento agregado:

Os modelos de custo linear são caracterizados por formulações onde tanto a função objetivo quanto as restrições apresentam apenas relações lineares de dependência.

Os modelos de custo linear podem ser divididos entre modelos clássicos de programação e modelos de múltiplos objetivos, os modelos clássicos, por sua vez, podem ser divididos entre modelos de força de trabalho constante e variável.

As principais vantagens desse tipo de formulação é o uso de códigos muito eficientes, com a possibilidade de uso de um número bem elevado de variáveis quando comparado com os demais tipos de formulação, sua principal desvantagem é que considera as demandas de forma determinística, o que pode distorcer os resultados para períodos muito longos de planejamento.

Esse tipo de modelo é caracterizado pelo emprego de termos quadráticos na função objetivo. O modelo mais comum de custo quadrático é representado pelo modelo HMMS, que

leva as iniciais de seus desenvolvedores (Holt, Modigliani, Muth e Simon) ele foi formulado no início da década de 1960 e nos anos que se seguiram diversos autores propuseram melhorias para o modelo original.

A maior vantagem desse tipo de modelo é uma consideração mais realista sobre a estrutura de custos quando comparado com os modelos de formulação linear, mas entre seus pontos fracos podemos citar a dificuldade para obtenção dos coeficientes apropriados para os custos e a limitação quanto ao número de variáveis envolvidas.

Os modelos de custo fixo ou de tamanho de lote são caracterizados pelo uso de variáveis binárias e inteiras em sua formulação, pois como o próprio nome sugere tratam de problemas onde o processo de manufatura é do tipo batelada e existem setups associados. Os modelos de custo fixo são divididos entre modelos sem restrição de capacidade e com restrição de capacidade, esse segundo grupo pode ser dividido novamente entre modelos de força de trabalho constante e força de trabalho variável.

Sua principal vantagem é a incorporação do seqüenciamento das ordens de produção e os lotes com tamanho pré-definido, como sua principal deficiência podemos citar a grande limitação de capacidade devido ao uso de variáveis binárias e inteiras em sua formulação.

Em muitas situações reais as indústrias apresentam custos não lineares e muitas vezes descontínuos e, portanto, não podem ser tratados com os tipos de modelagem já apresentados.

A principal vantagem desses modelos é o tratamento mais realístico dos sistemas produtivos, suas incertezas, suas estruturas diferenciadas de custo e suas restrições. Como desvantagens podemos citar a limitada capacidade de incorporar variáveis e consequentemente o alto nível de agregação exigido para a modelagem.

Os modelos de custo não linear podem ser divididos entre modelos analíticos, heurísticas, modelos de busca e simulações. A Figura 7 mostra um quadro com o resumo da classificação apresentada por Hax e Candea (1984).

O modelo alvo desse trabalho recai sobre o primeiro tipo de formulação apresentado por Hax e Candea (1984), o modelo de custo linear clássico com força de trabalho constante, pois devido às especificidades do setor têxtil esse tipo de formulação é a mais adequada para ser utilizada como ponto de partida devido à facilidade para incorporar novas restrições. Portanto

será apresentado a seguir um maior detalhamento sobre esse tipo de modelo disponível na literatura.

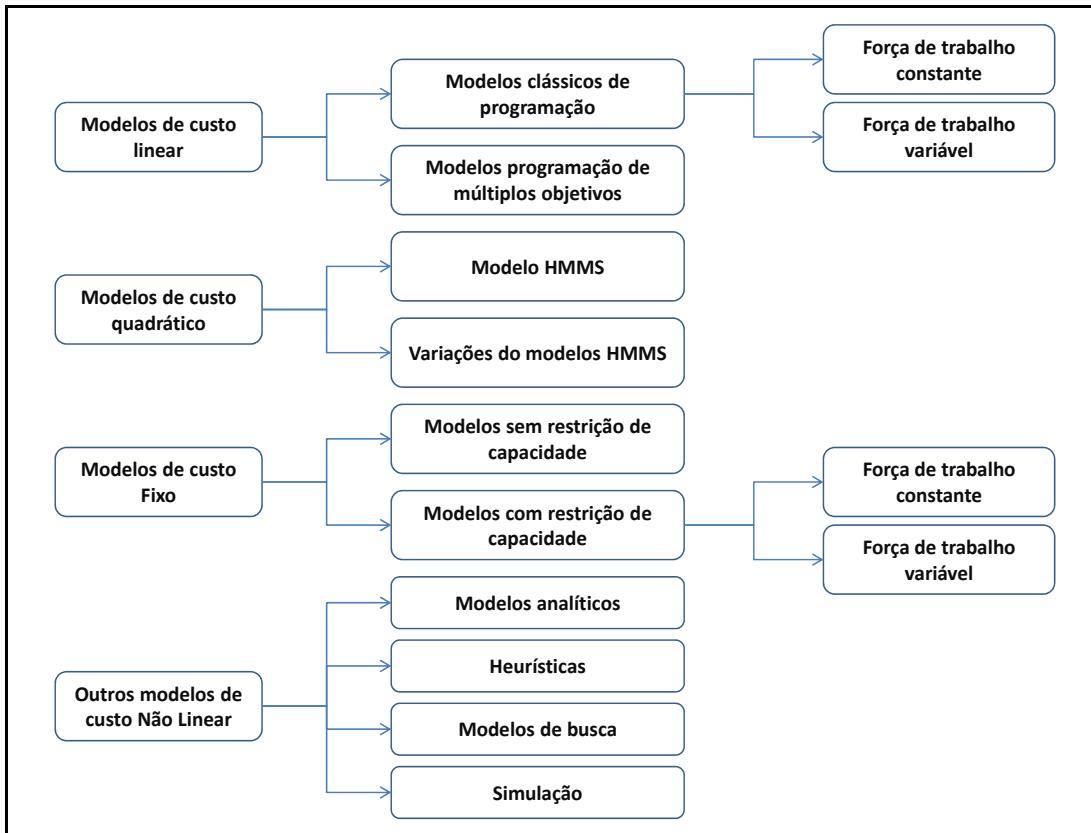


Figura 7 - Classificação dos modelos de programação pelo tipo de custo

2.2.4. Detalhamento dos modelos de custo linear

Os modelos de programação linear clássica para planejamento agregado podem ser divididos em dois grupos: os modelos de força de trabalho constante e os modelos de força de trabalho variável. Para os modelos de força de trabalho constante Hax e Candea (1984) propõem a seguinte formulação básica:

Parâmetros:

v_{it} = Custo mão-de-obra para produção de uma unidade do produto i no período t

c_{it} = Custo de estocagem de uma unidade do produto i entre o período t e $t+1$

r_t = Custo de homem/hora no período t (horas normais)

o_t = Custo de homem/hora no período t (horas extras)

d_{it} = Previsão de demanda para o produto i no período t

k_i = Homens/horas necessários para produção de uma unidade do produto i

$(rm)_t$ = Total de homens/horas disponíveis no período t (horas normais)

$(om)_t$ = Total de homens/horas disponíveis no período t (horas extras)

I_{i0} = Estoque inicial do produto i

W_0 = Nível inicial da força de trabalho (em homes/horas)

T = Horizonte de tempo considerado (em períodos)

N = Número total de produtos

Variáveis de decisão:

X_{it} = Quantidade produzida do produto i no período t

I_{it} = Estoque do produto i no período t

W_t = Homes/horas utilizados no período t (horas normais)

O_t = Homes/horas utilizados no período t (horas extras)

Formulação:

$$(MIN) Z = \sum_i \sum_t (v_{it} * X_{it} + c_{it} * I_{it}) + \sum_t r_t * W_t + o_t O_t \quad (I)$$

s.t

$$X_{it} + I_{i,t-1} - I_t = d_{it} \quad (II)$$

$$\sum_i k_i * X_{it} - W_t - O_t = 0 \quad (III)$$

$$0 \leq W_t \leq (rm)_t \quad (IV)$$

$$0 \leq O_t \leq (om)_t \quad (V)$$

$$X_{it}, I_{it} \geq 0 \quad (VI)$$

A função objetivo (I) expressa a minimização dos custos de produção, estocagem e mão de obra (horas regulares e horas extras).

A restrição (II) representa a equação de fluxo de produção, onde a variação dos estoques mais a produção se igualam a demanda. Nesse tipo de modelo as demandas são consideradas de maneira determinística, uma maneira de amenizar esse problema é a inclusão de estoques de segurança, esses estoques podem ser incorporados ao modelo através de uma modificação na restrição (VI), onde a parte pertinente aos estoques seria alterada para $I_{it} \geq s_{it}$, onde s_{it} representa o estoque de segurança do produto i no período t .

As restrições de (III) até (V) definem a quantidade de homes/horas que será usada em cada período e seus limites de variação. A primeira delas a equação de fluxo que iguala a quantidade consumida na produção com a quantidade disponibilizada de homes/horas (horas normais mais horas extras), essa é a única equação que liga as restrições do problema ao processo de produção, essa simplificação tem por objetivo garantir a linearidade do problema.

A restrição (VI) é para garantir a não negatividade das variáveis e, como já comentado, pode ser alterada para incorporar, por exemplo, estoques de segurança, caso não seja acrescentada uma restrição para assegurar o nível final dos estoques o modelo, devido a sua natureza, direcionará os estoques para o valor mais próximo possível de zero. Caso haja restrição de capacidade para estocagem dos produtos pode-se adicionar uma restrição que imponha um limite superior para o nível de estoque: $\sum_i I_{it} \leq (sc)_t$, onde $(sc)_t$ representa a capacidade do estoque ou armazém no período t .

Hax e Candea (1984) argumentam que uma das características que fazem esse tipo de formulação tão popular é a facilidade de inclusão de novas restrições e as adaptações que podem ser feitas à função objetivo e às restrições existentes, devido a sua alta capacidade computacional, porém os autores relatam que um problema envolvendo 60.000 variáveis já excederia a capacidade computacional disponível na época. Os avanços em termos de capacidade computacional e algumas técnicas de resolução permitem que hoje em dia possamos abordar problemas bem maiores, Birby *et al.*(1992) relatam a resolução de um problema de programação linear envolvendo mais de doze milhões de variáveis.

Bowman (1956) propõe em seu artigo que o problema de planejamento agregado pode ser formulado como um problema de transporte, de acordo o autor os principais ganhos dessa alternativa de formulação são a estrutura amigável dos problemas de transporte, gerando

maior facilidade de aplicação nas organizações, e os ganhos com tempo de processamento, ele cita em seu artigo que experimentos realizados por alunos do MIT mostraram ganhos da ordem de 80% nos tempos de processamento quando compararam as soluções geradas pelo método Simplex convencional e o método Simplex para problemas de transporte.

3. ANÁLISE DO PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo principal apresentar os pontos chave para o entendimento dos fatores que influenciam na elaboração do plano agregado de produção. Para isso serão analisados, resumidamente, o processo de fabricação de tecidos, a logística de produção da Tavex Corporation e o modelo atual de elaboração do PAP. Ao final deste capítulo, será apresentado um breve diagnóstico do processo atual com seus pontos positivos e suas eventuais deficiências.

3.1. Processo produtivo

A cadeia produtiva do setor têxtil pode ser dividida basicamente em cinco elos principais: produção de algodão, fiação, tecelagem, confecção e varejo. A Tavex Corporation atua de forma direta em dois destes cinco elos descritos, fiação e tecelagem, conforme Figura 8.

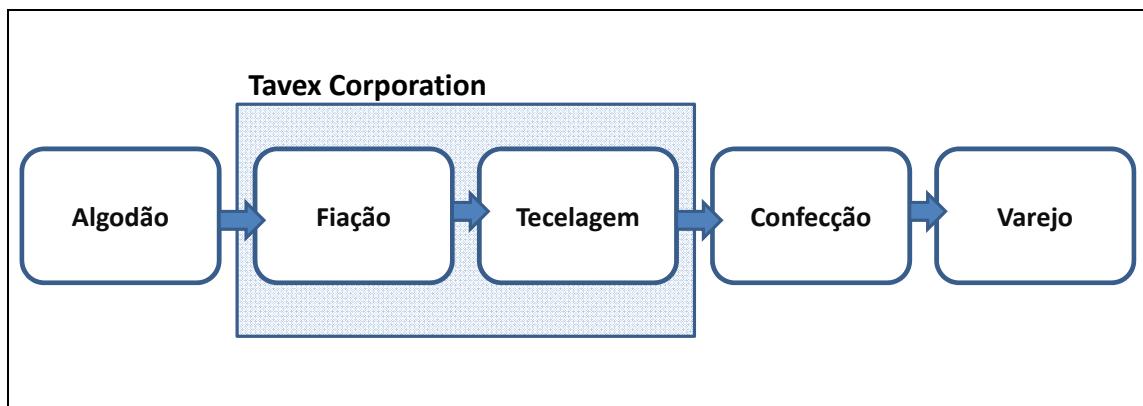


Figura 8 - Cadeia produtiva do setor têxtil

O elo de fiação abrange desde o tratamento da matéria-prima até a produção do fio e o elo de tecelagem pode ser dividido basicamente em duas grandes etapas: produção de tecidos nos teares, e acabamento onde os tecidos recebem os tratamentos responsáveis pela sua diferenciação.

3.1.1. Fiação

Existem dois processos possíveis para a produção de fios, o processo convencional, chamado “*ring*”, e um derivado, chamado “*open-end*”. O processo de produção do fio *ring* consiste no alinhamento e torção das fibras de algodão repetidas vezes até que se atinja a espessura e resistência desejadas, enquanto que no processo de fiação *open-end* os fios são torcidos com a ajuda de um rotor, sem a necessidade de alinhamento e estiramento das fibras do algodão.

O fio produzido com o processo *ring* possui maior resistência e estabilidade dimensional e apresenta melhor desempenho no uso final do produto, mas apresenta um *lead-time* de produção superior, por volta de oito dias; o fio *open-end* é indicado para títulos (espessura do fio) maiores e tem como principal objetivo a redução nos custos de produção, pois ele passa por um número menor de processos, a redução do *lead-time* é significativa, uma diferença aproximada de três dias.

O resultado desta etapa do processo produtivo são rolos de fio que podem variar quanto ao tipo de fio (*ring* ou *open-end*), ao seu título, à presença de lycra e às irregularidades programadas no fio (efeito *flame*).

A maior parte dos SKUs é padronizada e eles podem ser adquiridos de empresas especializadas em produção de fios através do processo de compra. O número de SKUs disponíveis no mercado passa 100, variando características como titulação, tipo de fio e cor.

3.1.2. Tecelagem

Essa etapa do processo produtivo consiste na transformação dos fios em tecidos, onde para denim e sarja (produtos finais da Tavex), o processo é de tecelagem plana. Denomina-se tecelagem plana, aquela que é composta por dois grupos de fios, urdume e trama, com ângulo de 90º entre si. Urdume é o fio que está no sentido do comprimento do tecido e trama aquele que está no sentido da largura.

A diferença básica entre denim e sarja está no processo de tingimento, para o denim os fios de urdume são tingidos antes da tecelagem, pois os fios de urdume permanecem sem

coloração, enquanto que para a sarja o tecido primeiro é produzido com os fios sem coloração e só então ele é tingido integralmente, trama e urdume.

Ao final da etapa de tecelagem os produtos, ainda em processo, se diferenciam basicamente pela cor do tingimento (para tecidos do tipo denim), pela composição do trançado entre trama e urdume e pelo fio utilizado.

O número de SKUs nessa etapa do processo (produto semiacabado) pode variar dependendo da região analisada, especificamente nas fábricas do México no ano de 2010 o número de SKUs era igual a 116.

A etapa de tecelagem é atualmente o gargalo do processo produtivo e por isso a base para a produção do plano agregado de produção. A variável de gargalo é o tempo de tear disponível nas plantas e por isso deve ter sua utilização otimizada.

3.1.3. Acabamento

Através de processos físicos e químicos, o beneficiamento (acabamento) confere aos tecidos suas características definitivas, tais como cor, encolhimento, largura, estabilidade dimensional, etc. Para as fábricas do México no ano de 2010 verificou-se um número de 154 SKUs.

A qualidade, percebida pelos que recebem o tecido acabado, está atrelada a algumas características como, por exemplo, encolhimento, nuança, peso, resistência, toque, fios/cm, batidas/cm, título e solidez da cor à lavagem, atrito e cloro. Todas essas características são controladas no processo de produção e é no beneficiamento que a integridade desses atributos é garantida.

O beneficiamento de denim se faz numa máquina chamada “linha integrada”, onde se realizam quatro processos: chamuscagem, desengomagem, desvio de trama e pré-encolhimento.

Ao final do processo de beneficiamento os produtos são integralmente inspecionados e classificados quanto às especificações de qualidade. Os tecidos são divididos em dois tipos: primeira qualidade (aprovados para venda) e segunda qualidade (refugos da produção vendidos por preço muito abaixo do mercado).

A Figura 10 mostra um esquema detalhado do processo de produção, desde o recebimento da matéria-prima até a armazenagem no DPA, o anexo I contém uma breve explicação de cada um dos processos descritos.

3.2. Logística de produção Tavex Corporation

A Tavex Corporation atua globalmente no fornecimento de tecidos planos e como já mencionado na seção 1.1.1 a empresa possui um total de nove fábricas em três continentes, América, África e Europa. As fábricas são divididas em conjuntos separados por mercado, num total de três: Mercado sul americano, mercado norte americano e mercado europeu.

Cada conjunto de fábricas atua como um sistema independente, com demandas e produção próprias, mas devido à deficiência de capacidade nos conjuntos de fábricas da Europa e da América do Norte, os sistemas podem apresentar transferência de produtos entre si, pois apenas as fábricas que atendem ao mercado sul americano poderiam atuar de forma totalmente isolada (sem necessidade de recebimento de produtos de fonte externa).

A Figura 9 mostra o fluxo de produtos entre os conjuntos fabris, onde o conjunto sul americano é responsável pelo completamento de capacidade dos demais conjuntos, o conjunto norte americano atua como receptor de mercadorias, mas também ajuda, em menor escala, no envio de produtos para o mercado europeu.

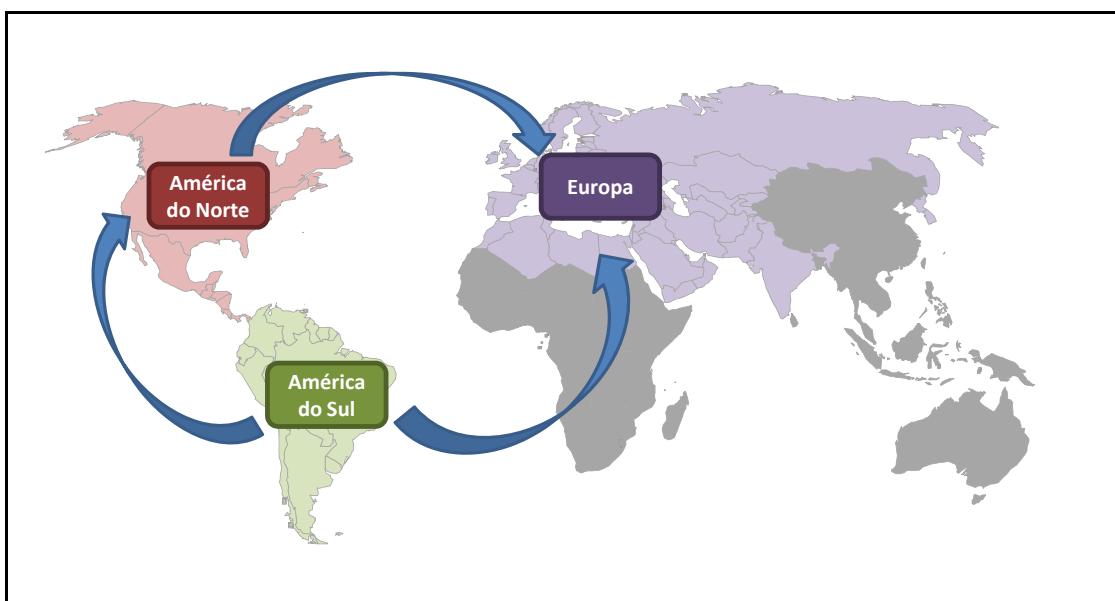


Figura 9 - Fluxo de produtos entre os mercados

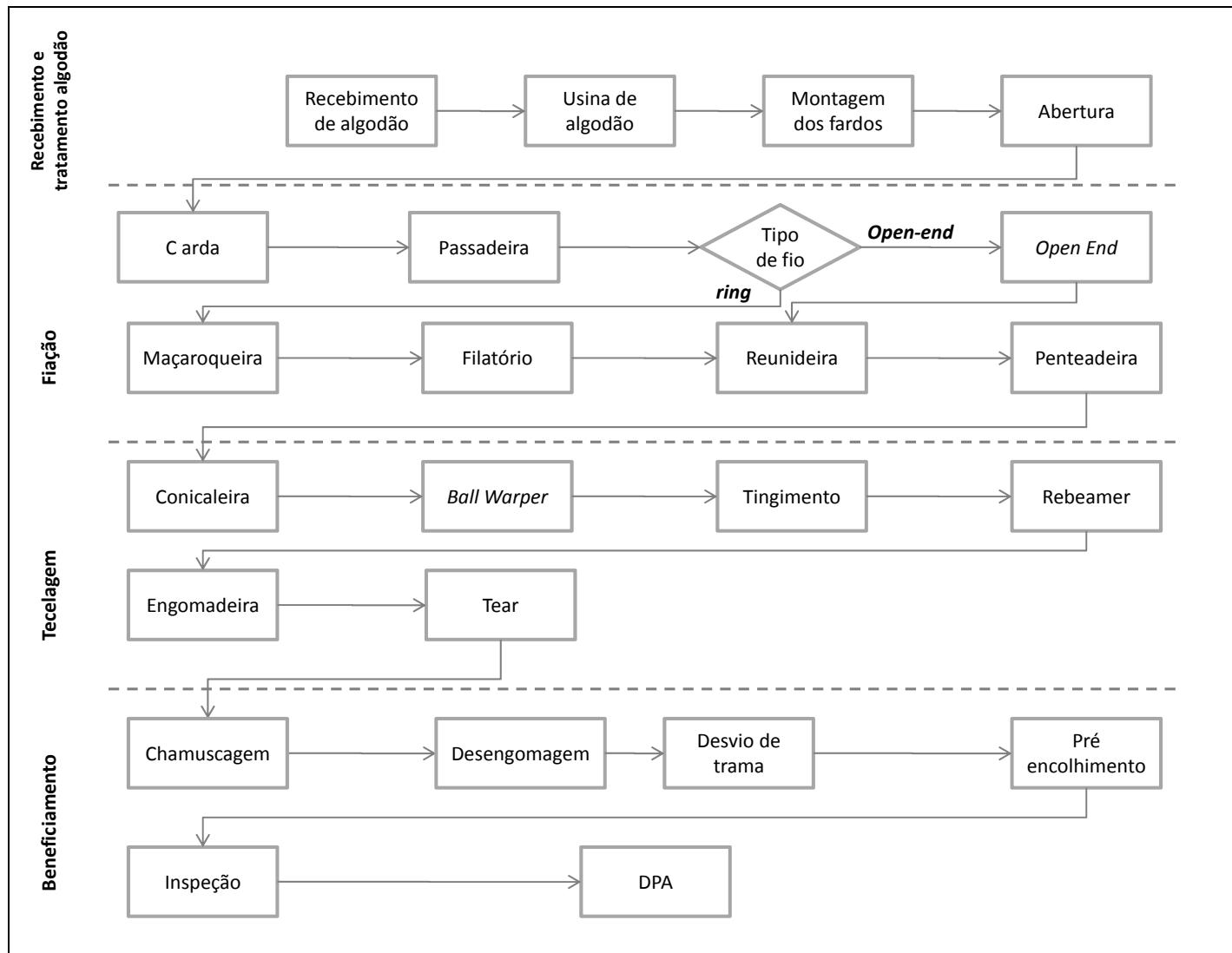


Figura 10 - Fluxograma do processo produtivo para tecidos planos

3.2.1. Sistema produtivo América do Norte

O mercado América do Norte é atendido por duas unidades fabris, ambas situadas no México nas cidades de Puebla e Tlaxcala, as duas cidades são muito próximas distando menos de 50 km uma da outra.

As duas plantas estão aptas a realizar todas as etapas do processo produtivo, desde a fiação até o acabamento de tecido. As fábricas atendem conjuntamente a demanda das confecções dos Estados Unidos e Canadá e também são responsáveis por uma pequena parte do abastecimento de produtos do mercado europeu, como apresentado na Figura 9.

As fábricas realizam entre si intercâmbio de produto semiacabado, onde o limite de transferência é função única e exclusiva da quantidade produzida na unidade de envio. Além do intercâmbio entre as unidades, o sistema produtivo da América do Norte pode utilizar produtos em processo com origem no sistema da América do Sul (envio externo).

A Figura 11 mostra um esquema resumido do fluxo de produtos dentro do sistema produtivo da América do Norte.

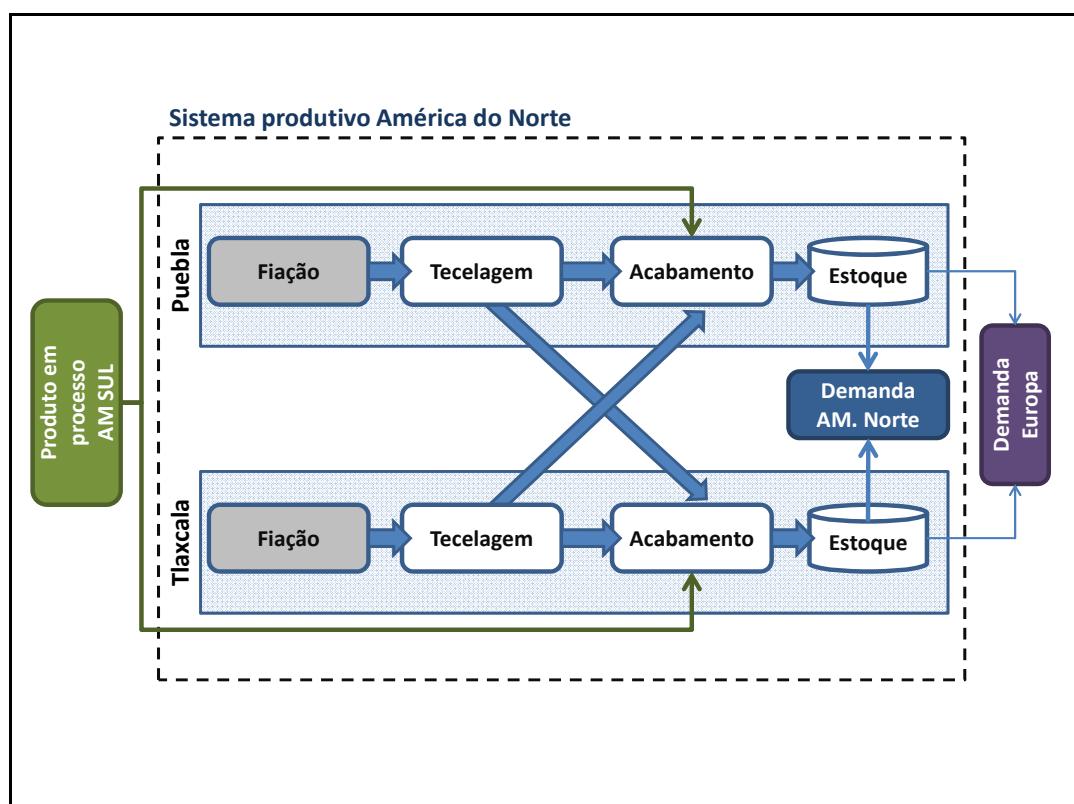


Figura 11 - Esquema da logística de produção América do Norte

3.3.Organização do Planejamento Tavex

O planejamento estratégico é responsabilidade do planejamento corporativo que é responsável pelas decisões de longo prazo e controle geral de todas as unidades fabris. O planejamento corporativo possui equipes de planejamento que são divididas de acordo com os mercados de atuação, ou seja, são três equipes distintas.

Cada equipe é subdividida entre planejamento central e planejamento fábrica, a equipe de planejamento central é responsável pela integração entre as fábricas e pelo abastecimento de materiais de sua região, já a equipe de planejamento fábrica é responsável pelo andamento diário das operações (programação e controle da produção). A Figura 12 apresenta um quadro resumo da estrutura e divisão do trabalho na equipe de planejamento Tavex Corporation.

Todas as equipes de planejamento central e a equipe de planejamento estratégico estão alocadas no escritório central da empresa situado na cidade de São Paulo, facilitando a troca de informação e resolução de problemas. As equipes de planejamento fábrica estão alocadas cada uma em sua respectiva unidade fabril, facilitando o controle e programação diários da produção.

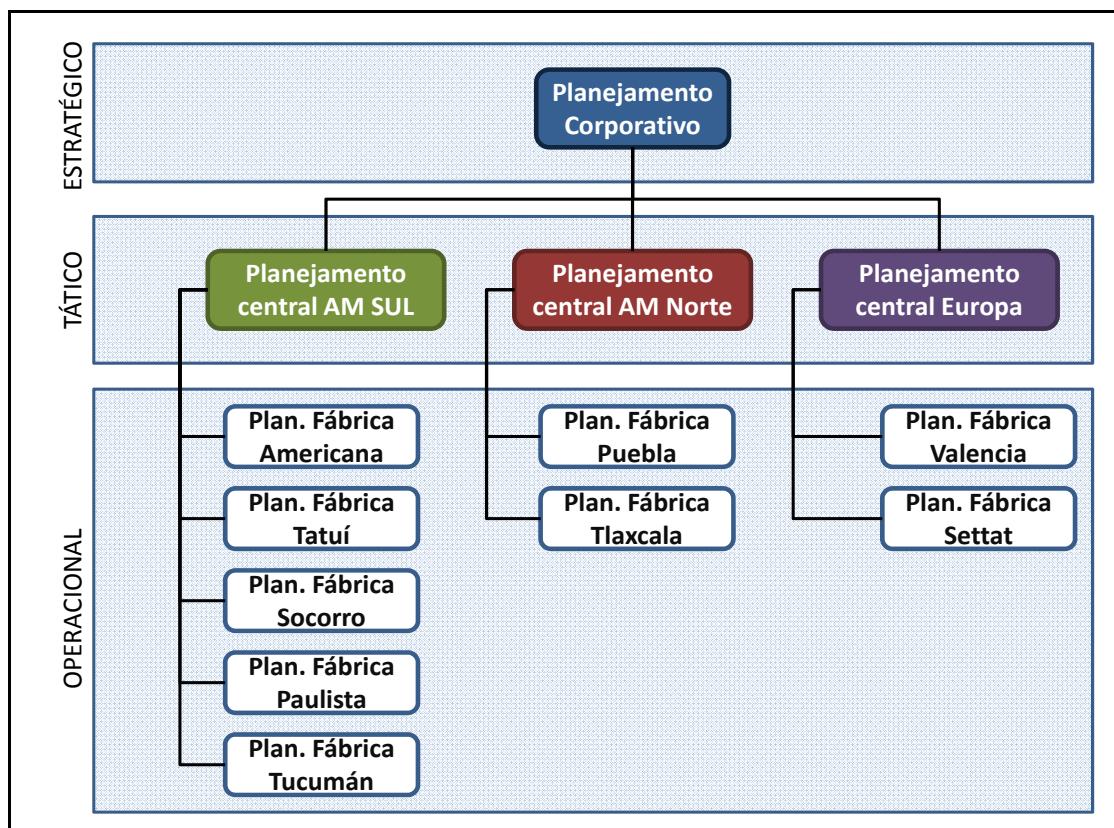


Figura 12 - Organização da equipe de planejamento Tavex Corporation

3.4. Planejamento agregado da produção

Todos os anos a Tavex Corporation realiza o processo de planejamento orçamentário (PO) onde são definidas as diretrizes de operação para o próximo ano. O processo de PO envolve toda a organização e o seu início se dá com a definição de metas relacionadas à estratégia da empresa, tais como geração do fluxo de caixa e de margem EBITDA. Posto isso, cada área monta seu projeto de contribuição para o cumprimento das metas e o envia para compilação por parte da controladoria que simula o fluxo de caixa gerado pela agregação dos dados e calcula sua aderência às metas estabelecidas pela cúpula estratégica.

O papel da equipe de planejamento na elaboração do PO é a de confeccionar o plano agregado de produção, onde serão disponibilizadas informações sobre o *mix* de produtos e o nível e de operação das plantas. Cada equipe de planejamento elabora o PAP para o conjunto de fábricas que administra, porém o processo é interligado devido às interdependências entre os conjuntos fabris.

O processo tem início com o PAP Europa que envia para as demais equipes sua necessidade de produto acabado, então a equipe América do Norte elabora seu PAP com a inclusão das demandas Europa e por fim a equipe responsável pela América do Sul roda o seu PAP incluindo as restrições das demais regiões.

3.4.1. *Modelo atual*

Este trabalho tem foco na América do norte, pois esse sistema possui o fluxo de produção mais completo entre os três sistemas existentes. Ele é o único a possuir tanto recebimento como envio de mercadorias, além de possuir um número intermediário de variáveis (menos unidades fabris que o sistema América do Sul e mais famílias de produtos que o sistema Europa).

O processo de elaboração do PAP América do Norte, foco deste trabalho, segue a configuração estrutural de sua equipe de planejamento, ou seja, é dividido em duas etapas, planejamento central e planejamento fábrica.

O planejamento central elabora o plano no nível tático, considerando os volumes totais mensais, as trocas de produto semiacabado entre as fábricas e a necessidade de recebimento

externo (produtos originados no conjunto América do Sul), mas não considera as restrições internas das unidades fabris.

O planejamento das fábricas é responsável pela validação da versão do PAP elaborada pelo planejamento central, considerando o problema no nível de alocação de tempo nos teares que, como já mencionado na seção 3.1.2, é atualmente o gargalo do sistema produtivo.

Essa divisão além de não gerar planos otimizados pode ocasionar a geração de planos inviáveis por parte do planejamento central, ocasionando um *loop* no processo, o que leva a um aumento de tempo na geração de um plano viável.

Existe uma segunda possibilidade de *loop*, já na parte de validação do plano, que é referente aos custos de produção. Após a elaboração do PAP os números são enviados para a validação por parte da controladoria que avalia se os custos e receitas são capazes de gerar o fluxo de caixa determinado pela cúpula estratégica. O processo completo de validação do PAP é mostrado na Figura 13.

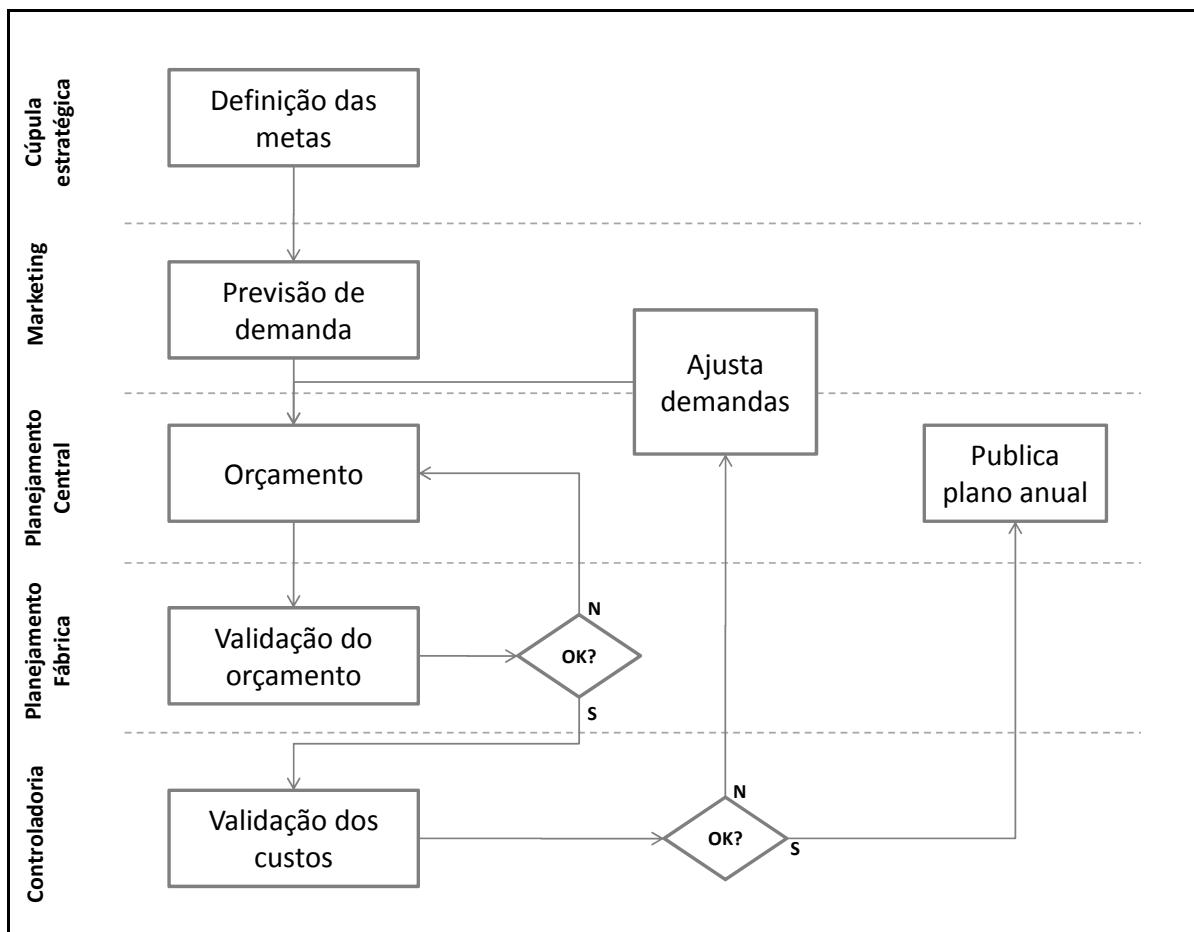


Figura 13 - Fluxograma de validação do PAP Américas do Norte

Apesar da equipe de planejamento América do Norte ser responsável pela elaboração de um plano agregado que considera a interação entre duas fábricas apenas, a quantidade de variáveis envolvidas no processo é considerável. No PAP elaborado em 2010, por exemplo, foram considerados um total de quinze períodos (padrão para todos os anos) e utilizadas 35 famílias de produtos, o que, considerando as trocas entre as unidades e o recebimento externo e a configuração do atendimento da demanda, produziu um problema com mais de 20 mil variáveis.

O uso de uma planilha Excel como único ferramental para equacionar todas as variáveis envolvidas no processo gera uma série de problemas com relação à qualidade da solução proposta, como já descrito na seção 1.3 deste trabalho. Nas seções seguintes serão analisadas as implicações do alto consumo de tempo para confecção do PAP nos fatores chave de análise: horizonte de planejamento e período de revisão.

3.4.2. Horizonte de planejamento e período de revisão

O horizonte de planejamento adotado para toda a empresa é de um ano, estendendo-se de janeiro a dezembro, com unidade de planejamento igual a um mês. Essa estrutura é herdada do modelo adotado para o processo de PO (planejamento orçamentário), principal demandante dos planos agregados de produção.

O modelo de PO idealiza revisão e controle trimestrais das metas definidas pela organização, ou seja, teoricamente deveriam ser realizadas três revisões anuais, mas devido ao alto consumo de tempo e recursos envolvidos na elaboração do PO, a última revisão é realizada em conjunto com o PO do próximo ano. Na prática isso acarreta um horizonte de 15 meses para o planejamento (três meses da última revisão mais os doze meses do próximo processo), conforme Figura 14.

Apesar da possível confusão em torno do horizonte correto para o PAP (entre doze ou quinze meses), uma análise rápida das restrições impostas ao processo confirma o horizonte de quinze meses como o correto. O PAP deve atender aos prazos impostos pela controladoria que, por sua vez, precisa entregar o PO já validado no máximo até o final da primeira quinzena de dezembro, quando o PO é apresentado aos acionistas e à empresa controladora.

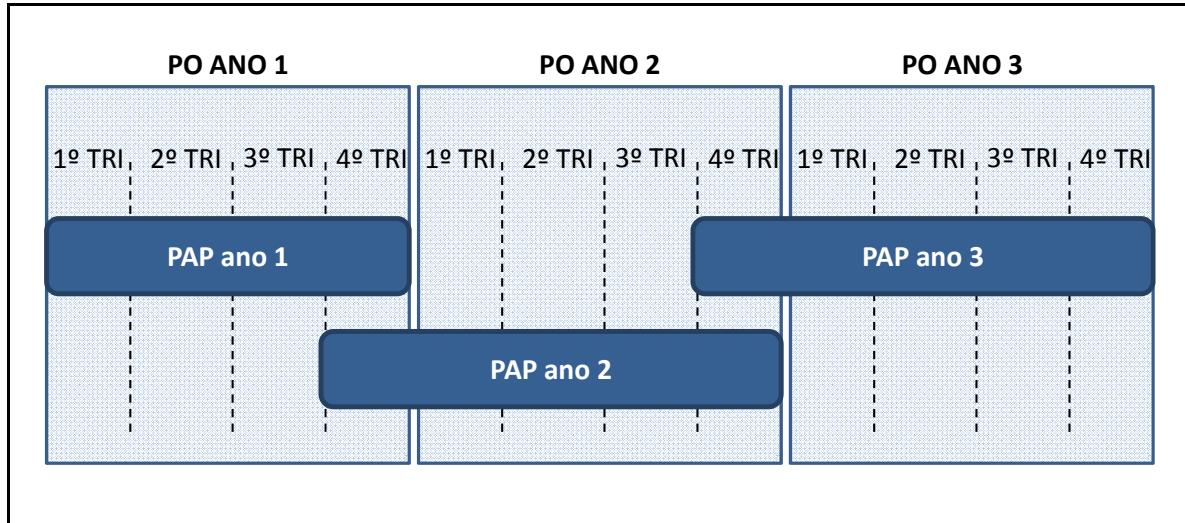


Figura 14 - Horizonte de planejamento do PAP

As revisões do PAP no modelo atual, por sua vez, além da perda de uma das análises trimestrais, sofrem com o encurtamento do horizonte de análise. Atualmente as revisões, assim como o próprio PAP, têm como objetivo principal o atendimento das requisições originadas no processo de PO, mas para o PO o horizonte de análise não é rolante, ou seja, são cobrados apenas os períodos de revisão que estejam dentro do ano de vigência do planejamento orçamentário.

As limitações do processo de PO aliadas ao alto consumo de recursos humanos no planejamento central da América do Norte têm como resultado a perda de três meses de análise a cada revisão. Como mostrado na Figura 15, o PAP tem sua versão original abarcando um horizonte de quinze meses e termina sua ultima revisão com um horizonte de apenas seis meses para análise.

3.4.3. Previsão da demanda

Grande parte dos produtos finais elaborados pela empresa (linha denim) tem como destino o abastecimento de confecções que atendem o mercado de moda. Devido às especificidades desse tipo de mercado, onde as demandas se atualizam em períodos menores que um ano, o índice de renovação dos produtos é muito alto tornando difícil uma previsão de vendas baseada em produtos isolados.

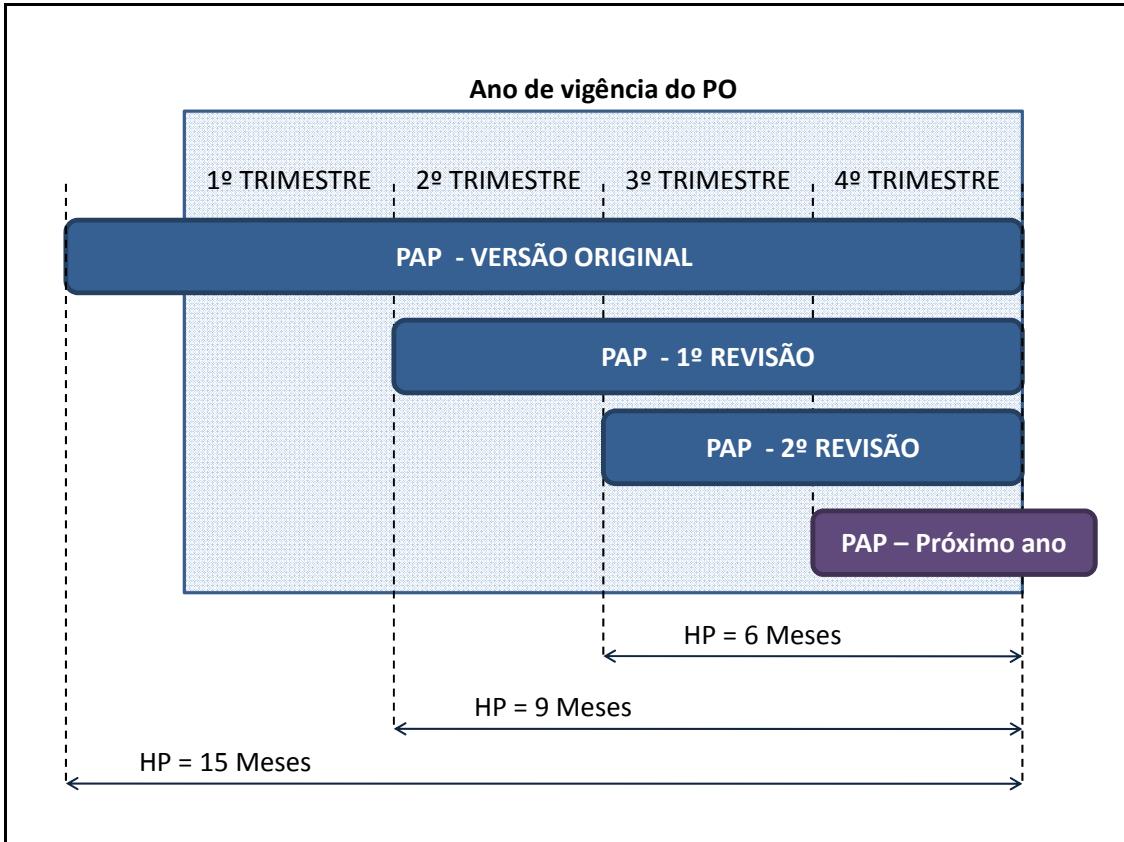


Figura 15 – Revisões do PAP

Para contornar esse problema a empresa trabalha, no nível tático, com previsão de vendas agregadas por famílias de produtos. As famílias são agregadas de acordo com similaridades no processo de tecelagem onde, apesar das semelhanças, os produtos ainda não passaram pelos processos responsáveis pela sua diferenciação.

O processo de previsão começa aproximadamente um ano antes do início do PO, onde a equipe de marketing percorre as feiras e desfiles dos principais centros produtores de tendência de moda e elaboram, a partir daí, uma compilação das principais tendências observadas.

O material disponibilizado pela equipe de marketing é apresentado à equipe de vendas e então as duas equipes, aliando os conhecimentos técnicos sobre moda e produtos da equipe de marketing com percepção de campo da área comercial, definem as previsões de demanda que serão utilizadas no PO.

As demandas para o setor têxtil são extremamente sazonais, atingindo picos em datas como natal e dias das mães. Devido à defasagem entre os elos da cadeia, as demandas no elo

de tecelagem são antecipadas em aproximadamente seis meses, ou seja, o pico de demanda provocado pelas vendas de natal no varejo é sentido no meio do ano pelas tecelagens.

Outra parte dos produtos, que é voltada ao mercado profissional (linha *workwear*), possui uma demanda razoavelmente constante e tem sua previsão elaborada exclusivamente pela equipe comercial. Na definição da previsão de demanda para esse tipo de produto a equipe comercial se baseia nos históricos de vendas e em projeções econômicas como, por exemplo, crescimento do PIB e crescimento de oferta no mercado de trabalho.

3.4.4. Política de estoques e nível de operação

A estratégia da empresa consiste na manutenção dos níveis de operação e consequente formação de estoques. Essa política é justificada pelo alto custo fixo característico do setor têxtil, onde a ociosidade representa elevação do custo dos produtos.

A maior parte do custo está relacionada à mão de obra, que é intensiva para os elos de fiação e tecelagem na cadeia de produção têxtil. Outro ponto crucial é o nível de especialização dos profissionais envolvidos no processo como, por exemplo, os tecelões. O tempo médio de treinamento desses profissionais é superior a três meses, inviabilizando contratações mirando o curto prazo ou ainda trabalho temporário.

A empresa espera que o nível de operação das fábricas seja superior a 80% da capacidade, que pode variar entre dois níveis: operação em três turnos e operação em quatro turnos. O quarto turno cobre os períodos de ociosidade normais como folgas semanais e feriados.

Mesmo com a utilização do quarto turno para complementar a capacidade de operação, no período de férias coletivas, dezembro de cada ano, a capacidade cai bruscamente para aproximadamente 30% da capacidade total.

A queda da capacidade produtiva e a sazonalidade na demanda impulsionam a empresa a trabalhar com acumulo de estoques durante os períodos de baixa demanda e uso dos estoques quando a demanda é superior à capacidade produtiva. A Figura 16 apresenta o estoque total e a demanda no sistema América do Norte em 2010, onde fica claro que o comportamento ideal não é atingido na maior parte dos períodos.

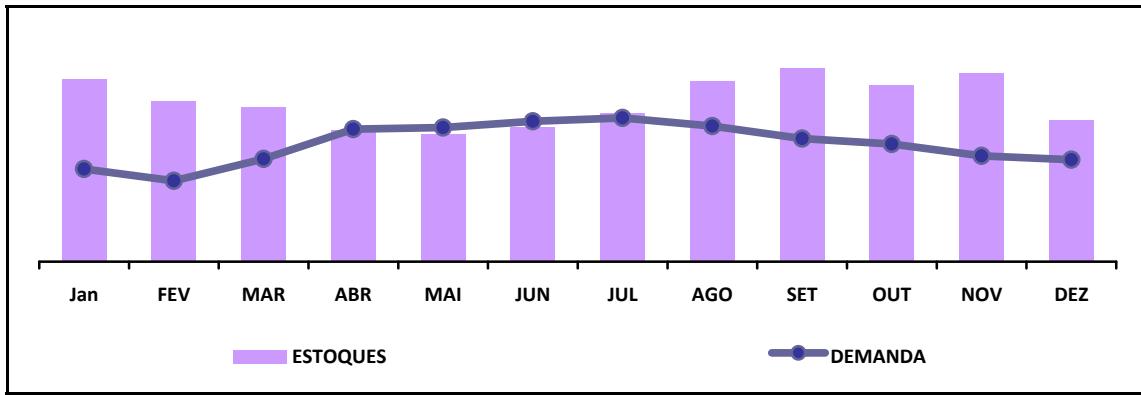


Figura 16 - Estoque x demanda em 2010 no Sistema América do Norte

A Tavex Corporation admite como limite mínimo de estoques o equivalente a um mês de previsão de vendas, onde a quantidade total de estoques é dividida da seguinte forma: 10 dias de estoque para produto semiacabado e 20 dias de estoque para produto acabado.

A Tabela 2 apresenta alguns exemplos de estoque mínimo praticados pela equipe de planejamento América do Norte no ano de 2010.

Tabela 2 - Exemplos de estoque de segurança para América do Norte

Família	Previsão de venda Mês 1 (km)	Estoque Mês 1 (semiacabado)	Estoque Mês 1 (acabado)
FAM 1	33 km	10 km	22,2 km
FAM 10	213 km	70 km	140 km
FAM 25	25 km	8 km	16 km
FAM 30	33 km	10 km	22 km

3.5. Análise crítica do processo de PAP

O processo atual de elaboração do PAP apresenta deficiências principalmente na qualidade das soluções propostas e no tempo de elaboração dessas soluções.

A principal causa dessas deficiências são as ferramentas utilizadas atualmente para a elaboração dos planos. As planilhas de Excel utilizadas pela equipe de planejamento são preenchidas manualmente e esse processo além de consumir um tempo de trabalho elevado não gera soluções otimizadas.

O uso de técnicas de pesquisa operacional aliadas ao processamento computacional para elaboração dos planos pode gerar soluções otimizadas e trazer economia de tempo para a equipe de planejamento.

A economia de tempo na elaboração do PAP pode trazer melhorias qualitativas para a empresa, pois problemas como o encurtamento do horizonte de análise e a superficialidade das revisões deixam de existir. As informações utilizadas para abastecer o modelo matemático têm a vantagem de estarem concentradas em um único arquivo, facilitando a consulta de dados e controle dos níveis estipulados pelo modelo.

Outros aspectos muito importantes que podem ser afetados positivamente pelo uso de um modelo de otimização são a criação de uma cultura organizacional, onde o uso de ferramentas e técnicas de modelagem matemática esteja mais presentes no dia a dia do planejamento, além de uma futura possível integração dos planos agregados das três regiões; e uma possível integração do modelo ao sistema de custo utilizado pela controladoria, reduzindo o tempo total de elaboração do PO.

4. MODELAGEM DO PLANO AGREGADO DE PRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo a descrição do modelo proposto para a resolução do problema de alocação da produção da Tavex Corporation. Como já descrito no primeiro capítulo a Tavex é uma indústria têxtil com diversas fábricas espalhadas pelo mundo, nesse trabalho trataremos das fábricas localizadas no México, num total de duas fábricas (Puebla e Tlaxcala).

O objetivo do modelo é a minimização do custo total de produção, abrangendo os custos de mão de obra, tecelagem, acabamento, estocagem e de transferência entre unidades. O problema será formulado como um problema multiperíodo abrangendo um horizonte de quinze meses de planejamento, onde cada mês será considerado como um período independente.

Como resultado deste trabalho, será possível saber para cada período analisado:

- A quantidade produzida de cada uma das famílias de produtos em cada uma das fábricas a cada período.
- A quantidade de produto semiacabado transferida entre as fábricas para cada uma das famílias de produtos a cada período.
- A quantidade disponível em estoque de produto acabado para cada uma das famílias de produtos em cada uma das fábricas a cada período.

A Figura 17 apresenta um esquema gráfico da parte do fluxo produtivo que será abordada na modelagem, a formulação abarca duas etapas do processo de produção de tecidos, tecelagem e acabamento.

4.1. Premissas

O modelo proposto se baseia na formulação clássica de problemas de planejamento agregado com estrutura de custo linear e força de trabalho variável proposta Hax e Candea (1978). O modelo foi adaptado para contemplar as especificidades do sistema produtivo em questão.

A formulação assume certas premissas com o intuito de simplificar o problema, mas mantendo a validade de seus resultados. As hipóteses adotadas são as seguintes:

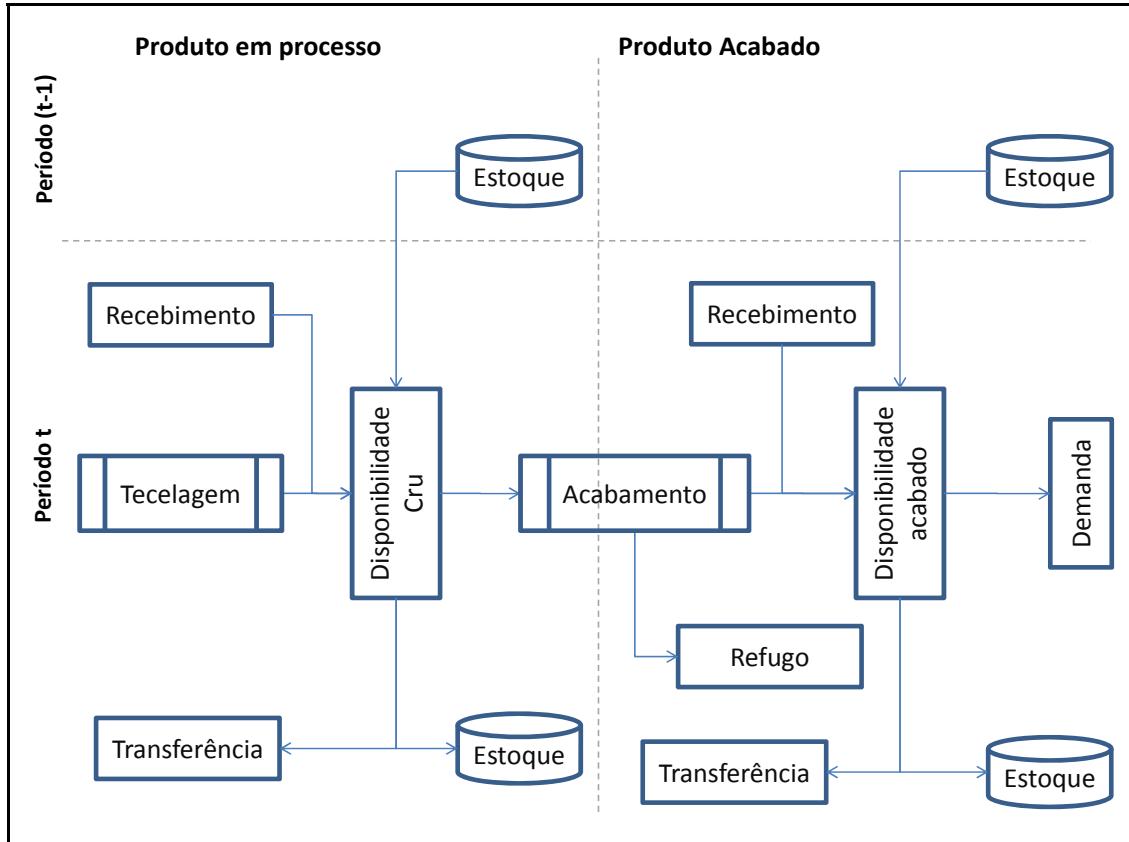


Figura 17 - Esquema do processo produtivo utilizado no modelo

- i. **Limite de estocagem:** A capacidade de estocagem é tida como ilimitada, caso os níveis de estoque ultrapassem a capacidade física disponível, a empresa pode alugar armazéns (fato pouco provável, pois a capacidade de estocagem é quase o dobro da média mensal de estoque total).
- ii. **Força de trabalho:** Um quarto turno de trabalho pode ser adicionado ao sistema. Uma vez adicionado, o quarto turno permanece ativo até o final do período de análise.
- iii. **Capacidade de acabamento:** A capacidade de acabamento é considerada ilimitada, pois é bem superior a capacidade de produção dos teares (gargalo do sistema produtivo).
- iv. **Custo Fixo:** O modelo considera apenas os custos variáveis para obtenção das soluções.

4.2. Descrição das variáveis e parâmetros

A seguir a Tabela 3 mostra os índices utilizados na formulação e suas respectivas faixas de variação.

Tabela 3 - Índices do modelo

Índices	Descrição	Intervalo de variação	Valor máximo
<i>i</i>	Tipo de produto (semiacabado ou acabado)	(1, ..., I)	I=35
<i>k</i>	Tipo de tear	(1, ..., K)	K=3
<i>q</i>	Nível de operação (trimestre de inicio do quarto turno)	(1, ..., Q)	Q=4
<i>t</i>	Período de referência	(1, ..., T)	T=15
<i>u, v</i>	Fábrica	$u = (1, ..., F)$ $v = (1, ..., F)$	F=2

A Tabela 4 apresenta as definições dos parâmetros com suas respectivas unidades de medida.

Tabela 4 - Parâmetros do modelo

Parâmetro	Descrição	(continua) Unidade
vt_{iuk}	Taxa de produção para produto semiacabado da família <i>i</i> na fábrica <i>u</i> no tear do tipo <i>k</i>	m/h
ca	Custo de transferência externa	\$/metro
cc	Custo contratação do quarto turno	\$/trimestre
cs	Custo de estocagem	\$/metro
cm	Custo de transferência entre fábricas	\$/metro
cx	Custo de tecelagem (estágio 1 – produto semiacabado)	\$/metro

(conclusão)

Parâmetro	Descrição	Unidade
cy	Custo de acabamento (estágio 2 – produto acabado)	\$/metro
dy_{it}	Demanda de produto acabado da família i no período t	Metros
ha_{tuk}	Horas de trabalho normais para teares do tipo k no período t na fábrica u para operação em três turnos	Horas
hb_{tukq}	Horas de trabalho adicionais para teares do tipo k no período t na fábrica u com nível q de operação	Horas
rd_{iu}	Fator de aproveitamento de produto acabado para a família i na fábrica u	(%)
ta_i	Cota total de transferência de fonte externa para produto da família i (semiacabado ou acabado)	Metros
tx_t	Limite máximo de transferência de produto semiacabado de fontes externas no período t	Metros
BC_{u0}	Parâmetro binário que indica a utilização de quarto turno no primeiro trimestre de análise para cada uma das fábricas u .	Número puro
XS_{i0u}	Estoque inicial de produto semiacabado da família i na fábrica u	Metros
XS_{i0u}	Estoque inicial de produto acabado da família i na fábrica u	Metros

A Tabela 5 apresenta as variáveis utilizadas na formulação com suas respectivas unidades de medida.

Tabela 5 - Variáveis do modelo

Variável	Descrição	(Continua) Unidade
BC_{uq}	Variável Binária de decisão sobre nível de operação q da fábrica u	Número puro
BT_{ituk}	Variável Binária de decisão sobre a alocação de tempo no tear k na fábrica u durante o período t para família do tipo i	Número puro

Variável	Descrição	(conclusão)	Unidade
XA_{itu}	Quantidade de produto semiacabado da família i, transferido de fonte externa no período t para a fábrica u	Metro	
XD_{itu}	Quantidade total de produto semiacabado da família i disponibilizado para acabamento, no período t na fábrica u	Metro	
XM_{ituv}	Quantidade de produto semiacabado da família i, tecido no período t na fábrica u e disponibilizado para transferência para fábrica v	Metro	
XP_{itu}	Quantidade de produto semiacabado da família i tecido no período t na fábrica u	Metro	
XS_{itu}	Estoque de produto semiacabado da família i no período t na fábrica u	Metro	
XT_{ituk}	Tempo gasto na produção do produto da família i no período t na fábrica u no tear do tipo k	Horas	
YA_{itu}	Quantidade de produto acabado da família i, transferido de fonte externa no período t para a fábrica u	Metro	
YD_{itu}	Quantidade de produto acabado da família i disponibilizado para atendimento da demanda no período t pela fábrica u	Metro	
YM_{ituv}	Quantidade de produto semiacabado da família i, tecido no período t na fábrica u e disponibilizado para transferência para fábrica v	Metro	
YP_{itu}	Quantidade total de produto acabado da família i produzido no período t pela fábrica u	Metro	
YS_{itu}	Estoque de produto acabado da família i no período t na fábrica u	Metro	

4.3. Modelo

A modelo tem por objetivo minimizar os custos totais de produção, estocagem e transferências no período de análise (15 meses), respeitando as restrições impostas ao modelo.

Função Objetivo

$$\begin{aligned}
 (\min) Z = & \text{cc.} \sum_{k=1}^K \sum_{q=1}^Q [(5 - q) * BC_{uq}] \\
 & + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U (cx * XP_{itu} + cs * XS_{itu} + ca * XA_{itu}) \\
 & + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U (cy * YP_{itu} + cs * YS_{itu} + ca * YA_{itu}) \\
 & + cm \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U \sum_{v=1; v \neq u}^V (XM_{ituv} + YM_{ituv})
 \end{aligned} \tag{1}$$

Restrições:

$$XP_{itu} = \sum_{k=1}^K (v_{iuk} * XT_{ituk}) \tag{2}$$

$i = (1, \dots, I)$; $t = (1, \dots, T)$; $u = (1, \dots, U)$

$$XS_{itu} = (XS_{i,t-1,u} + XA_{itu} + XP_{itu}) + \sum_{v=1; v \neq u}^V (XM_{ituv} - XM_{itvu}) - XD_{itu} \tag{3}$$

$i = (1, \dots, I)$; $t = (1, \dots, T)$; $u = (1, \dots, U)$; $u \neq v$

$$YP_{itu} = rd_{iu} * XD_{itu} \tag{4}$$

$i = (1, \dots, I)$; $t = (1, \dots, T)$; $u = (1, \dots, U)$

$$YS_{itu} = (YS_{i,t-1,u} + YA_{itu} + YP_{itu}) + \sum_{v=1;v \neq u}^V (YM_{ituv} - YM_{itvu}) - YD_{itu} \quad (5)$$

i = (1, ..., I); t = (1, ..., T); u = (1, ..., U); u ≠ v

$$\sum_{u=1}^U YD_{itu} = dy_{it} \quad (6)$$

i = (1, ..., I); t = (1, ..., T)

$$\sum_{t=1}^I XT_{ituk} \leq ha_{tuk} + \sum_{q=0}^Q BC_{uq} \cdot hb_{tukq} \quad (7)$$

t = (1, ..., T); u = (1, ..., U); k = (1, ..., K)

$$\sum_{t=1}^I XT_{ituk} \geq 0,8 * (ha_{tuk} + \sum_{q=1}^Q BC_{uq} \cdot hb_{tukq}) \quad (8)$$

t = (1, ..., T); u = (1, ..., U); k = (1, ..., K)

$$\sum_{q=1}^Q BC_{uq} \leq 1 \quad (9)$$

u = (1, ..., U)

$$XT_{ituk} \geq 350 * BT_{ituk} \quad (10)$$

i = (1, ..., I); t = (1, ..., T); u = (1, ..., U); k = (1, ..., K)

$$XT_{ituk} \leq 500.000 * BT_{ituk} \quad (11)$$

i = (1, ..., I); t = (1, ..., T); u = (1, ..., U); k = (1, ..., K)

$$\sum_{u=1}^U XS_{itu} \geq 0,33 * dy_{it} \quad (12)$$

i = (1,...,I); t = (1,...,T); u = (1,...,U)

$$\sum_{u=1}^U YS_{itu} \geq 0,67 * dy_{it} \quad (13)$$

i = (1,...,I); t = (1,...,T); u = (1,...,U)

$$XA_{itu} \leq ta_i \quad (14)$$

i = (1,...,I); t = (1,...,T); u = (1,...,U)

$$\sum_{i=1}^I XA_{itu} \leq tx_t \quad (15)$$

t = (1,...,T); u = (1,...,U)

$$YA_{itu} \leq ta_i \quad (16)$$

i = (1,...,I); t = (1,...,T); u = (1,...,U)

$$\sum_{i=1}^I YA_{itu} \leq ty_t \quad (17)$$

t = (1,...,T); u = (1,...,U)

$$BC_{uq}; BT_{ituk} \text{ Binárias} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} XA_{itu} &\geq 0; YA_{itu} \geq 0; XD_{ituv} \geq 0; YD_{ituv} \geq 0; \\ XM_{ituv} &\geq 0; YM_{ituv} \geq 0; XS_{itu} \geq 0; YS_{itu} \geq 0 \end{aligned} \quad (19)$$

i = (1,...,I); k = (1,...,K); t = (1,...,T); u = (1,...,U); v = (1,...,V)

4.3.1. Função Objetivo

A equação (1) é a função objetivo que deve ser minimizada. Essa equação representa o custo total de produção que é composto por seis fatores distintos, cada um deles representando uma espécie de custo. Os custos representados nesta função são os de contratação, tecelagem, acabamento, estocagem, transferência entre fábricas e recebimento de fonte externa (plantas da América do Sul). Os dois estágios de produção apresentam todos os tipos de custo descritos.

Devido à dificuldade de levantamento dos custos reais envolvidos no processo produtivo (a controladoria não autorizou o uso das informações de custo) os coeficientes representam apenas uma estimativa da relação entre os diversos custos, tomando como valor unitário o custo de oportunidade (\$/hora ociosa nos teares), conforme especificado na seção 5.8 sobre o levantamento dos custos para o modelo.

4.3.2. Restrições

O modelo considera como restrições as limitações mais importantes do sistema produtivo e as condições de não negatividade para as variáveis, a seguir apresenta-se uma breve explicação sobre o significado de cada uma dessas restrições.

As equações de (2) até (6) representam o fluxo do sistema produtivo e garantem a ligação entre a produção nos teares e as demandas por produto acabado.

A equação (2) define a quantidade total de produto semiacabado produzido nas plantas. O volume produzido para um determinado tipo de produto é função da velocidade dos teares e do tempo gasto na sua produção.

As equações (3) e (5) representam, respectivamente, a quantidade de produto semiacabado e acabado em estoque no final de cada período. O volume estocado é função do estoque final do período anterior, da quantidade produzida, do saldo de transferências e da quantidade disponibilizada para consumo.

A equação (4) representa a quantidade total de produto acabado produzido nas plantas. A quantidade produzida é função da quantidade total de produto semiacabado disponibilizada para acabamento na planta e do rendimento do processo de acabamento.

A restrição (6) iguala a quantidade de produto acabado disponibilizada pelas plantas para atendimento à demanda total de um determinado tipo de produto acabado (demanda do mercado Estados Unidos e a demanda Europa).

As equações de (7) até (16) representam o limite de variação das diversas variáveis do problema, representando a ligação entre os resultados do modelo e as limitações reais incorridas no processo produtivo.

As equações (7) e (8) refletem a estratégia da empresa de trabalhar com as fábricas em um nível de operação próximo a capacidade total de produção. A quantidade total de horas gastas nos teares deve variar no intervalo entre 80% e 100% da quantidade total de horas de tear disponível.

A equação (9) reflete a possibilidade de apenas um nível adicional de horas de trabalho. Escolhido o início do quarto turno para um determinado trimestre, as demais possibilidades ficam automaticamente descartadas.

As equações (10) e (11) referem-se ao lote mínimo de produção que é de trezentas e cinquenta horas de tear. O tempo de tear alocado ou é igual a zero ou maior que trezentas e cinquenta horas. Como limitante superior (*Big M*) o modelo utiliza M igual a 500 mil horas (valor superior à quantidade total de horas disponíveis nas plantas).

As equações (12) e (13) representam, respectivamente, os limites mínimos do nível estoque para produto semiacabado e produto acabado. Os estoques de segurança são determinados de forma a possibilitar o atendimento da demanda por um período completo. Os estoques de segurança para produtos semiacabados e acabados equivalem a um terço e dois terços da demanda, respectivamente e são considerados de forma conjunta.

As equações (14) e (16) garantem que sejam alocadas transferências de fonte externa apenas para os produtos que podem ter produção no sistema América do Sul, portanto o limite de transferência ta_i pode assumir dois valores distintos: zero (não existe produto similar na fonte externa) e ilimitado (*big M* – não há restrições quanto à quantidade de transferência).

As equações de (15) e (17) limitam a quantidade total de produtos semiacabados e acabados, respectivamente, transferida a partir de fonte externa para as fábricas. Esse limite é baseado na cota total de envio disponibilizado pelo planejamento central da América do Sul e não faz referência a nenhuma família de produtos específica.

A equação (18) representa as variáveis binárias do modelo, podendo assumir valores iguais a zero ou iguais a um.

As equações de (19) são todas as restrições que garantem a não negatividade das variáveis que não possuem limitante inferior, ponto essencial para a validade do modelo.

5. LEVANTAMENTO DOS DADOS

O objetivo deste capítulo é apresentar a coleta de dados necessários à formulação do problema e a sua resolução.

Os dados foram disponibilizados pela gerência de planejamento da Tavex Corporation. A coleta foi realizada de modo a dar subsídio de informações aos 15 períodos contemplados no modelo.

Ao final deste capítulo teremos informações sobre os seguintes parâmetros:

- Velocidade de produção de cada produto nas diversas fábricas.
- A quantidade de estoque inicial (para produtos semiacabados e acabados) de cada tipo de família nas diferentes fábricas.
- O fator de encolhimento associado a cada tipo de artigo em cada uma das fábricas.
- As demandas dos produtos nos diversos períodos para o sistema América do Norte.
- A disponibilidade de horas de tear em cada período para cada uma das fábricas.
- Os limites superiores de transferência de produto semiacabado de cada tipo de produto entre as diversas fábricas.
- Os limites superiores de transferência de produto acabado de cada tipo de produto entre as diversas fábricas.
- As quantidades mínimas de estoque que devem mantidas para cada um dos produtos nos diversos períodos em cada uma das fábricas (estoque de segurança).
- A estimativa para os custos de produção para cada uma das fábricas.

5.1. Definição das famílias

A agregação dos produtos em famílias é utilizada tanto na previsão de demanda como na confecção do plano agregado de produção. As famílias são definidas com base na semelhança entre as rotas de produção seguidas por cada um dos produtos. Apesar de utilizarem os mesmo tipos de recurso dois produtos de uma mesma família podem apresentar características finais bastante distintas, tais como cor, peso e acabamento.

O fator determinante para a agregação de um produto dentro de uma determinada família está no processo de tecelagem. Os produtos devem compartilhar o mesmo tipo de ajuste no tear, pois assim podem ser alternados na linha de produção com um ínfimo tempo de setup nos teares. Depois da agregação dos produtos por tipo de ajuste no tear, uma família pode ser subdividida pela semelhança de rota de produção antes e depois da tecelagem.

O número de famílias e produtos pode variar muito a cada ano, pois uma grande parte da produção é voltada para mercado de moda que é bastante volátil e exige um alto índice de renovação. No ano de 2010, para mercados atendidos pelas fábricas analisadas, a empresa contava com um leque de 155 produtos divididos em 35 famílias de produtos.

5.2. Velocidade de produção dos tecidos

A velocidade de produção de tecido é fruto da combinação entre dois fatores chave, a velocidade de trabalho do tear e o título (espessura) do fio. Teares de diferentes tipos apresentam uma velocidade distinta de produção para um mesmo tipo de produto e um mesmo tipo de tear apresenta diferentes velocidades de produção para títulos diferentes de fio, mesmo que o tipo de ajuste no tear seja o mesmo (produtos de mesma família).

Como dentro de uma família existem produtos que apresentam velocidades distintas de produção, trabalharemos com o conceito de velocidade média da família, onde a velocidade média é definida pela média ponderada das velocidades de cada produto contido na família. O fator de ponderação é o volume médio de venda dos produtos no ano de 2009 e para os produtos novos, sem dados históricos, o volume foi atribuído a partir da média de venda dos demais produtos da família.

O cálculo das velocidades é dado de acordo com a seguinte equação:

$$Vel\ média = \frac{\sum vel * qtd\ vendida}{\sum qtd\ vendida}$$

A Tabela 6 mostra a velocidade média de produção para cada uma das famílias nas duas fábricas analisadas.

Tabela 6 - Velocidades médias de produção

Família	Puebla (velocidade em metros/hora)			Tlaxcala (velocidade em metros/hora)		
	Tear 1	Tear 2	Tear 3	Tear 1	Tear 2	Tear 3
FAM 1	19,18	19,26	19,43	19,43	12,74	12,57
FAM 2	20,16	20,4	20,4	20,4	13,2	13,2
FAM 3	18,79	19,38	19,33	18,63	19,43	19,43
FAM 4	20,84	21,47	21,47	21,47	17,37	13,89
FAM 5	18,42	18,98	18,98	18,98	15,57	12,28
FAM 6	25,86	26,32	26,32	26,32	21,21	17,03
FAM 7	21,41	22,05	22,05	22,05	18,1	14,27
FAM 8	18,33	18,55	18,55	18,55	14,35	12
FAM 9	18,31	18,92	18,92	18,67	14,82	12,08
FAM 10	19,43	14,91	12,57	21,52	21,47	21,29
FAM 11	22,8	22,67	22,67	22,67	17,8	14,67
FAM 12	21,6	21,47	21,47	21,47	16,86	13,89
FAM 13	19,43	19,43	19,43	19,43	15,26	12,57
FAM 14	19,43	19,43	19,43	19,43	15,26	12,57
FAM 15	18,58	18,88	18,88	18,88	14,88	12,22
FAM 16	20,22	20,1	20,1	20,1	16,5	13,01
FAM 17	19,14	19,43	19,43	19,43	15,37	12,57
FAM 18	23,58	24	24	24	18,92	15,53
FAM 19	22,62	22,52	22,52	22,64	18,45	14,65
FAM 20	25,5	25,5	25,5	25,5	19,95	16,5
FAM 21	21,73	22,67	22,67	22,67	18,12	14,67
FAM 22	25,5	25,5	25,5	25,5	20,63	16,5
FAM 23	20,04	20,4	20,4	20,4	15,78	13,2
FAM 24	19,09	19,43	19,43	19,43	15,83	12,57
FAM 25	23,31	18,31	15,09	19,4	19,4	19,4
FAM 26	22,73	20,23	18,67	21,6	21,47	21,47
FAM 27	21,63	21,45	21,15	21,82	17,18	14,12
FAM 28	21,54	19,48	17,68	22	22	22
FAM 29	22,01	22,43	22,44	21,99	18,45	14,81
FAM 30	29,78	28,91	29,78	19,27	31,53	24
FAM 31	22,67	22,27	22,67	14,67	22,67	17,53
FAM 32	22,67	22,27	22,67	14,67	22,67	18,27
FAM 33	23,31	23,04	23,31	15,09	23,31	18,58
FAM 34	22,67	22,67	22,67	22,67	18,67	14,67
FAM 35	30	30	30,18	30	24,18	19,41

5.3.Demanda

As plantas localizadas no México têm como finalidade básica o atendimento do mercado norte americano, mas também são utilizadas para complementar a capacidade produtiva das plantas na Europa. Devido à natureza da clientela (grandes confecções) e a forma como o produto final é armazenado (rolos de 100 metros de tecido) a empresa não faz uso de centros de distribuição, seu sistema logístico considera apenas os centros produtivos e os clientes finais. Essa abordagem gera apenas duas fontes de demanda, o mercado local (Estados Unidos) e mercado Europa.

Os dados de demanda local são gerados pela área comercial e validados pela equipe de marketing ponderando-se questões estratégicas como *mix* desejado e atendimento de clientes chave. A demanda do mercado Europa é gerada pela equipe de planejamento da Europa e disponibilizada no início do processo do PAP.

Os dados de previsão de demanda para os mercados americano e europeu são apresentados na Tabela 7 e Tabela 8, respectivamente.

Tabela 7 - Previsão de demanda para o mercado americano (km)

(continua)

Fam	Mês1	Mês2	Mês3	Mês4	Mês5	Mês6	Mês7	Mês8	Mês9	Mês10	Mês11	Mês12	Mês13	Mês14	Mês15
F1	33,7	28,9	24,9	22,9	21,6	35	43,8	43,3	46,9	46,9	46,9	45,5	40,5	32,8	26,5
F2	73,5	62,4	53	49,4	48,2	75,4	95,4	97,7	109,2	110,5	113,8	106,1	93,2	75,7	62,8
F3	107,9	102,6	110,2	86,6	53,3	62,5	84,7	87,7	102,6	114,6	115,5	93	73	84,1	95,2
F4	22	18,6	27	21,4	11,7	20,2	21,8	30,7	32,2	39,7	43,2	40,3	35,8	28,1	18,3
F5	23,9	22,3	14,9	11,9	10,1	15,1	15,1	22,7	24	29,1	31,2	29,2	26	20,7	13,5
F6	18,4	15,9	14,9	13,4	9,5	14,1	14,1	21,2	22,3	27,1	27,1	25,5	22,7	17,8	11,7
F7	121,7	121,7	119,1	119,1	66,2	59,5	69,5	62,9	72,8	89,4	82,7	74,5	45	42,3	52,9
F8	114,6	91,1	94,6	76,3	90,1	145,1	182,4	180,2	195,2	195,2	195,2	189,2	168,2	136,1	110
F9	139,1	127,9	133,3	107,8	115,4	157,3	180	227,6	233,4	262,7	261	227,9	184,4	165,6	186,6
F10	213,4	175,9	162,2	154,8	130,9	219,1	273,1	278,5	297,7	297,9	287,6	282,2	246,9	207,9	155,3
F11	193,7	160,3	129,2	116,4	83	119,8	174,1	182,5	189	173	172,3	167,5	156,8	130,7	141,5
F12	45	45	44,7	49,7	59,5	59,5	72,8	88,6	56,3	82,7	96	44,7	47,6	53,4	49,7
F13	18,1	15,4	14,9	10,4	13,1	18,3	18,7	15,2	22,2	34,3	36,9	13,7	16	16	15,2
F14	10,6	10,6	11,9	6,6	6,6	16,6	18,5	20,5	16,6	16,6	16,6	14,9	13,3	18,6	17,9
F15	114,6	91,1	94,6	76,3	90,1	145,1	182,4	180,2	195,2	195,2	195,2	189,2	168,2	136,1	110
F16	146,6	148,7	149,4	142,9	219	193,7	272,6	263,2	342,3	353,2	245,2	143,5	159,5	148,9	168,4

(conclusão)

Fam	Mês1	Mês2	Mês3	Mês4	Mês5	Mês6	Mês7	Mês8	Mês9	Mês10	Mês11	Mês12	Mês13	Mês14	Mês15
F17	52,1	40,2	35,3	32,8	34	54,8	68,3	66,2	71,7	71,7	73,1	70,2	60,9	50,8	39,3
F18	55,6	92,7	29,8	29,8	33,1	33,1	62,9	39,7	56,3	49,7	60,8	23,8	30,7	30,2	36,4
F19	93,4	75,2	62,9	57,8	57,2	91,7	113,8	114,5	121,4	121,7	122,1	118,3	104,2	85,8	69,6
F20	90,7	78,1	68,7	63,5	56,5	91,6	116,2	112,5	124,3	125,6	126,3	122,1	105,7	88,4	69,4
F21	70,9	69,8	67,3	74	88,2	102,1	124,7	117,5	112	115,3	80,7	67,1	86,9	86,1	75,6
F22	33,7	28,9	24,9	22,9	21,6	35	43,8	43,3	46,9	46,9	46,9	45,5	40,5	32,8	26,5
F23	29,6	29,6	30,3	27,1	29,3	28,4	41,1	27,8	36,1	37	46,9	22	29,5	29,5	34,4
F24	66,2	42,3	41,6	38,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F25	25,5	18,9	17,5	14,6	16,3	26,1	31	30,7	31,7	34,8	33,7	32,5	28,1	23,4	18,6
F26	70,4	71,5	73,8	73,4	80,4	82	98,3	141,5	130,7	106,3	105,7	76,3	108	84,3	82,2
F27	279,1	283,5	284,5	308,6	280,7	311,7	399	355,1	318,5	325,6	272,1	283,1	280,9	280	313,2
F28	44,4	37	37,5	32,4	23,1	34,5	34,5	51,9	54,8	66,3	61,1	57,5	51,1	40,3	26,6
F29	415,9	406,3	376,1	365	233,6	364,7	461,7	488,4	511,7	540,6	532,8	505,4	454,2	402,4	398,1
F30	33,3	33,3	30,3	30,3	16,8	17,9	24,8	16,6	16,8	13,2	14,6	12,1	29,1	30	36,4
F31	18,6	18,6	17,9	13,2	4,4	22,5	31,3	31,3	31,3	26,9	26,9	24,2	32,3	25	31,3
F32	29,6	22,8	11,9	10,6	10,4	15,5	15,5	23,4	24,7	29,8	35,1	33	29,3	23,2	15,1
F33	442,3	440,3	429,6	471,7	352,7	340,2	477,6	472	451,1	425,5	344,5	425,5	451,5	450,5	488,1
F34	40,2	34,9	38,1	34,3	27,6	43,4	46,2	58,1	61	66,7	63,8	59,1	53,8	45,4	36
F35	55,6	92,7	29,8	29,8	33,1	33,1	62,9	39,7	56,3	49,7	60,8	23,8	30,7	30,2	36,4

Tabela 8 - Previsão de demanda da Europa (km)

	FAM15	FAM16	FAM18	FAM19	FAM27	FAM29
Mês1	30,0	12,2	21,8	27,8	39,8	39,6
Mês2	23,9	12,4	36,3	22,3	40,5	38,6
Mês3	22,0	11,1	10,4	16,7	36,1	31,8
Mês4	16,0	9,5	9,3	13,7	35,2	27,8
Mês5	18,8	14,6	10,4	13,6	32,1	17,8
Mês6	30,4	12,9	10,4	21,8	35,6	27,7
Mês7	38,2	18,1	19,7	27,1	45,6	35,1
Mês8	37,7	17,5	12,5	27,2	40,5	37,2
Mês9	40,9	22,8	17,6	28,9	36,3	38,9
Mês10	40,9	23,5	15,5	28,9	37,2	41,2
Mês11	40,9	16,3	19,0	29,1	31,1	40,5
Mês12	44,0	10,6	8,3	31,3	35,9	42,8
Mês13	44,0	13,2	12,0	30,9	40,1	43,2
Mês14	35,6	12,4	11,8	25,5	40,0	38,3
Mês15	23,0	11,2	11,4	16,5	35,8	30,3

5.4. Estoques

Os estoques são divididos entre estoque de produto acabado e estoque de produto semiacabado. A intenção da empresa é manter o nível de estoque geral em aproximadamente 30 dias de venda, onde 10 dias de estoque de produto semiacabado e mais 20 dias de estoque de produto acabado.

Os estoques iniciais tanto de produto semiacabado como de produto acabado são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Estoques iniciais México

(continua)

Família	Estoque inicial PUEBLA (km)		Estoque inicial TLAXCALA (km)	
	Produto semiacabado	Produto acabado	Produto semiacabado	Produto acabado
FAM1	8,4	0,0	7,1	20,8
FAM2	19,2	0,0	13,4	134,1
FAM3	21,6	16,5	15,1	43,9
FAM4	6,4	40,5	4,5	0,0
FAM5	4,9	43,4	3,4	0,0
FAM6	4,3	101,9	3,0	0,0
FAM7	18,9	38,5	16,5	0,0
FAM8	33,7	0,0	23,6	112,5
FAM9	42,1	5,4	29,5	52,5
FAM10	52,9	16,4	37,0	136,9
FAM11	36,0	9,1	25,2	0,0
FAM12	13,8	0,7	9,7	0,0
FAM13	4,3	20,5	3,0	0,0
FAM14	3,4	23,4	2,4	0,0
FAM15	41,1	3,0	28,8	0,0
FAM16	50,9	28,5	35,7	103,4
FAM17	12,8	47,8	12,1	0,0
FAM18	13,9	9,5	9,9	0,0
FAM19	27,5	33,3	21,1	34,3
FAM20	22,5	31,1	16,9	0,0
FAM21	20,8	73,9	19,4	0,0
FAM22	8,4	9,0	5,9	0,0
FAM23	7,5	53,2	5,2	0,0
FAM24	3,2	0,0	2,2	18,2
FAM25	6,0	0,2	4,2	0,0

(conclusão)

Família	Estoque inicial PUEBLA (km)		Estoque inicial TLAXCALA (km)	
	Produto semiacabado	Produto acabado	Produto semiacabado	Produto acabado
FAM26	21,5	5,6	15,1	13,4
FAM27	80,0	47,2	56,0	95,4
FAM28	10,3	69,6	7,2	0,0
FAM29	109,3	32,6	76,5	26,5
FAM30	5,7	37,6	4,7	0,0
FAM31	5,6	51,0	5,4	0,0
FAM32	5,2	51,0	4,3	0,0
FAM33	101,6	120,4	75,2	0,0
FAM34	11,1	0,0	10,2	20,8
FAM35	10,5	603,5	7,3	0,0

5.5.Fator de rendimento

No processo de acabamento dos produtos ocorrem dois tipos básicos de perda, encolhimento do tecido e produtos fora da especificação.

O processo de encolhimento ocorre naturalmente em tecidos de fibras naturais. A fábrica antecipa esse processo por meio de tratamentos físicos e químicos com a intenção de minimizar problemas nos elos posteriores da cadeia como, por exemplo, para as confecções onde a estabilidade dimensional é importante principalmente no projeto de corte das peças, ou até mesmo para o consumidor final.

Por se tratar de em processo controlado, a porcentagem de encolhimento pode ser determinada com precisão ainda na fase de teste dos produtos, já a porcentagem de produtos fora da especificação é obtido de forma empírica, contabilizando-se a proporção de produtos refugados.

O aproveitamento final do produto (rd) deve levar em conta esses dois fatores de perda, podendo ser escrito com a seguinte formula:

$$rd = (\%) \text{encolhimento} * (\%) \text{aproveitamento}$$

Os dados de encolhimento e refugo para cada uma das famílias foram obtidos pelo mesmo processo de determinação das velocidades dos teares na seção 5.2, ou seja, pela média ponderada entre os produtos contidos na família, onde o fator de ponderação é volume de vendas do ano anterior. A Tabela 10 apresenta as porcentagens para cada uma das famílias.

Tabela 10 - Fator de rendimento

Família	PUEBLA (Fábrica 1)			TLAXCALA (Fábrica 2)		
	Encolhimento	Aproveitamento	Rd	Encolhimento	Aproveitamento	Rd
FAM1	--	--	--	87,4%	85,3%	74,6%
FAM2	--	--	--	87,7%	84,2%	73,8%
FAM3	94,9%	88,9%	84,4%	93,3%	82,8%	77,2%
FAM4	95,5%	86,6%	82,7%	--	--	--
FAM5	93,5%	87,5%	81,8%	--	--	--
FAM6	87,1%	86,8%	75,6%	--	--	--
FAM7	93,4%	86,7%	81,0%	--	--	--
FAM8	--	--	--	89,1%	91,7%	81,7%
FAM9	95,3%	84,1%	80,2%	90,5%	89,0%	80,6%
FAM10	97,3%	89,5%	87,0%	93,5%	84,1%	78,7%
FAM11	96,2%	86,6%	83,2%	--	--	--
FAM12	85,2%	84,0%	71,6%	--	--	--
FAM13	95,5%	82,0%	78,3%	--	--	--
FAM14	93,8%	82,0%	76,9%	--	--	--
FAM15	100,0%	90,3%	90,3%	102,2%	87,7%	89,6%
FAM16	96,5%	89,9%	86,8%	93,2%	88,8%	82,7%
FAM17	87,5%	86,9%	76,0%	--	--	--
FAM18	90,9%	88,3%	80,3%	100,0%	88,3%	88,3%
FAM19	96,5%	87,8%	84,8%	94,9%	87,8%	83,3%
FAM20	92,0%	87,8%	80,8%	--	--	--
FAM21	94,5%	88,5%	83,6%	--	--	--
FAM22	92,0%	86,3%	79,3%	--	--	--
FAM23	84,0%	83,0%	69,7%	--	--	--
FAM24	--	--	--	87,5%	84,5%	74,0%
FAM25	92,6%	89,1%	82,5%	--	--	--
FAM26	92,3%	87,5%	80,8%	95,0%	85,9%	81,6%
FAM27	95,6%	85,9%	82,1%	95,9%	84,9%	81,4%
FAM28	93,6%	88,1%	82,5%	--	--	--
FAM29	89,1%	87,4%	77,9%	90,6%	86,4%	78,3%
FAM30	93,8%	88,6%	83,1%	--	--	--
FAM31	88,7%	84,7%	75,1%	--	--	--
FAM32	91,8%	87,7%	80,5%	--	--	--
FAM33	100,0%	88,1%	88,1%	--	--	--
FAM34	--	--	--	94,7%	89,3%	84,6%
FAM35	82,9%	87,8%	72,8%	--	--	--

5.6. Horas disponíveis nos teares

As horas de tear são contabilizadas a partir do número de horas úteis disponíveis no mês, a quantidade de turnos e o número de teares na fábrica.

As horas úteis disponíveis levam em conta fatores como feriados e férias coletivas, podendo variar a cada ano. O número de turnos pode variar entre três e quatro dependendo do regime adotado pela fábrica durante o período de análise.

A Tabela 11 apresenta um quadro resumo com a quantidade de horas mensais utilizados para confecção do PAP.

A quantidade total de horas disponíveis em cada tipo de tear é função da quantidade de horas de trabalho e do número total de teares em operação. O número total de teares pode variar em função de aquisição de equipamento ou transferência de equipamentos de outras unidades. Para o período em análise o número total de teares disponíveis para operação se manteve constante, a Tabela 12 trás um resumo do número total de teares disponíveis em cada uma das unidades fabris no período de análise.

Tabela 11 - Horas de trabalho disponíveis

Período	PUEBLA (Fábrica 1)		TLAXCALA (Fábrica 2)	
	Horas 3 turnos	Horas 4 turnos	Horas 3 turnos	Horas 4 turnos
Mês1	648	744	648	744
Mês2	624	720	624	720
Mês3	144	240	240	336
Mês4	552	648	504	600
Mês5	576	672	576	672
Mês6	648	744	648	744
Mês7	600	696	600	696
Mês8	624	720	624	720
Mês9	624	720	624	720
Mês10	648	744	648	744
Mês11	648	744	648	744
Mês12	624	720	624	720
Mês13	648	744	648	744
Mês14	624	720	624	720
Mês15	624	720	336	432

Tabela 12 - Horas disponíveis nos teares

	PUEBLA (Fábrica 1)	TLAXCALA (Fábrica 2)
Tipo tear	Nº teares	Nº teares
Tear tipo 1	60	65
Tear tipo 2	67	70
Tear tipo 3	40	40

5.7. Limites de transferência

As transferências de produto semiacabado podem ocorrer de duas formas, transferências entre as próprias fábricas ou recebimento externo (fábricas na América do Sul).

O limite de envio externo (América do Sul) é determinado pelo planejamento central Brasil e é disponibilizado na forma de cota mensal. No ano de 2010 as cotas foram fixadas em cinquenta quilômetros por mês. Essa cota pode ser distribuída entre as diversas famílias de acordo com as necessidades do planejamento América do Norte, sendo limitada apenas à existência de produção física das famílias demandadas. As famílias F1 até F10 têm produção exclusiva nas plantas do México e não podem ser disponibilizadas por meio de transferência externa. Para as transferências entre plantas do México não há qualquer restrição, limitando-se o volume máximo a quantidade de produto tecido na planta de origem.

As transferências de produto acabado podem ocorrer apenas entre as fábricas do México, as transferências originárias do sistema América do Sul não são consideradas devido à limitações de caráter técnico (Existe uma diferença significativa entre as nuances dos tecidos produzidos em sistemas distintos)

5.8. Custos

Os dados de custo utilizados no modelo foram obtidos através da normalização dos custos fornecidos pela equipe de planejamento, tomando como unidade o custo unitário de menor valor, ou seja, o custo de estoque. Por questão de escala o valor unitário foi considerado como um centavo de unidade monetária (1u = \$0,01). A Tabela 13 apresenta o resultado dessa conversão.

Tabela 13 - Levantamento dos custos do modelo

Tipo de Custo	Valor monetário
Produção cru (\$/metro)	\$ 0,50
Acabamento (\$/metro)	\$ 0,58
Custo MDO Puebla (\$/hora)	\$ 500.000,00
Custo MDO Tlaxcala (\$/hora)	\$ 500.000,00
Estocagem cru (\$/metro)	\$ 0,05
Estocagem acabado (\$/metro)	\$ 0,05
Transf. México (\$/metro)	\$ 0,20
Transf AM Sul (\$/metro)	\$ 0,60
Oportunidade (\$/hora)	\$ 0,01

6. Aplicação do modelo de planejamento agregado

Os testes de validação do modelo foram realizados com o auxílio do programa de otimização *WHAT'S BEST* v. 8.0 disponibilizado pela empresa em um computador com a seguinte configuração: *Windows 7*, 4GB de RAM e processador Intel Core2Quad Q9550.

Devido ao alto número de variáveis binárias utilizadas no modelo, mais de três mil, serão utilizados dois modelos distintos: o primeiro com o relaxamento das restrições de lote mínimo e o segundo com todas as restrições definidas no capítulo 4.

O primeiro modelo, com o relaxamento das restrições de lote mínimo, tem o objetivo de fornecer o limitante inferior (*lower bound*) para o custo na função objetivo, porém essa solução pode ser não factível devido a possíveis violações das restrições de lote mínimo. O segundo modelo, com todas as restrições incluídas, não gera soluções ótimas, mas fornece uma solução factível que será utilizada como limitante superior (*upper bound*) (o tempo de processamento definido como aceitável não foi suficiente – O processamento foi interrompido). Um esquema do método de avaliação proposto é mostrado na Figura 18.

Para medir a qualidade da solução factível gerada pelo modelo completo ela será comparada com a primeira solução (modelo relaxado) e então avaliado a diferença percentual no custo total retornado pela função objetivo.

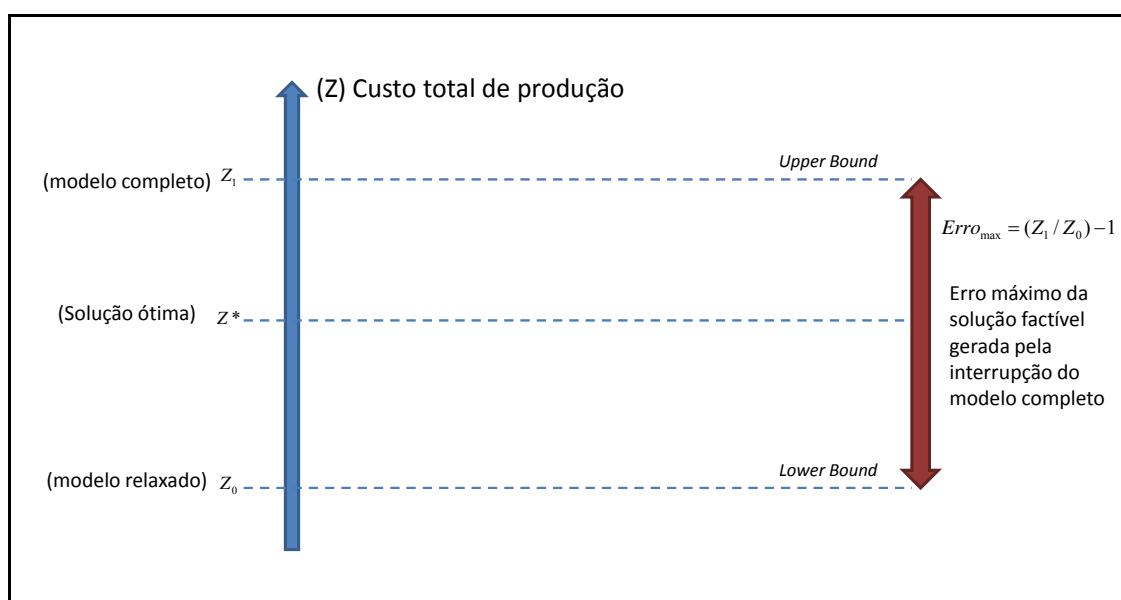


Figura 18 - Esquema do método de solução

6.1. Modelo com relaxamento das restrições de lote mínimo

O modelo com relaxamento das restrições de lote mínimo é o resultado da exclusão das equações (11) e (12) do modelo apresentado na seção 4.3. Todas as demais restrições foram mantidas. Os resultados obtidos com essa solução são apresentados no apêndice II.

O modelo relaxado apresenta um ótimo desempenho em termos de tempo de processamento (tempo total de processamento inferior a 10 segundos), mas falha na questão do lote mínimo. O número de variáveis abaixo do lote mínimo (350 horas de tear) ficou em 23% do total de variáveis não nulas do modelo, conforme Figura 19. Esse percentual é inaceitável devido ao alto índice de utilização do tempo disponível, em 12 dos 15 meses analisados não houve folga nas variáveis de tempo, inviabilizando qualquer tipo de ajuste manual posterior.

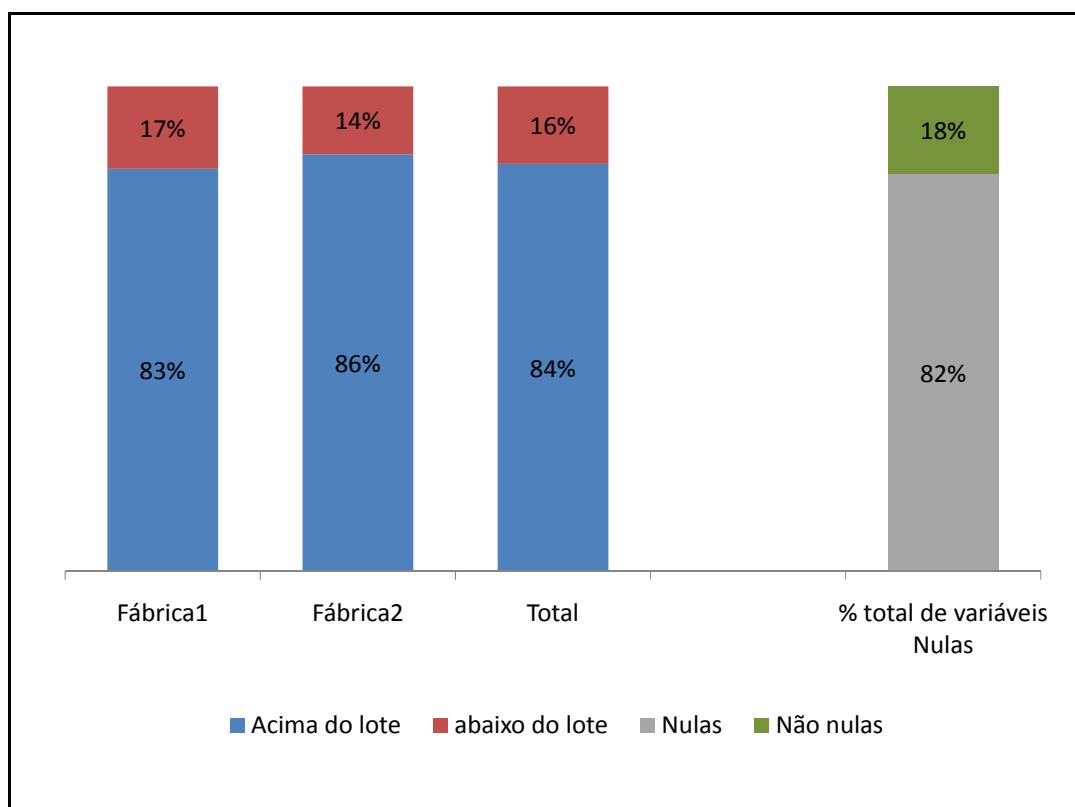


Figura 19 - Alocação de tempo de tear no modelo V0

Para facilitar a comparação com as versões posteriores do modelo de otimização do PAP, a versão com relaxamento das variáveis binárias de lote mínimo será denominada versão V0. A Tabela 14 apresenta os valores detalhados da função de custo total (Z) para a versão V0 do modelo.

Tabela 14 - Detalhamento do custo (Modelo V0)

Tipo de custo	Puebla	Tlaxcala	Total
MDO adicional	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Tecelagem	\$ 15.050.085,93	\$ 14.981.571,15	\$ 30.031.657,08
Acabamento	\$ 14.527.564,87	\$ 16.691.417,03	\$ 31.218.981,90
Estocagem	\$ 2.064.740,75	\$ 1.283.049,61	\$ 3.347.790,36
Transferência México	\$ 15.865,13	\$ 63.471,58	\$ 79.336,71
Transferência AM Sul	\$ 0,00	\$ 296.162,12	\$ 296.162,12
Oportunidade	\$ 527,13	\$ 0,00	\$ 527,13
Total	\$ 31.658.783,81	\$ 33.315.671,49	\$ 64.974.455,30

6.2. Modelo com inclusão das restrições de lote mínimo

Nesta seção são analisados dois aspectos essenciais para a validade do modelo completo: Erro percentual em relação ao modelo relaxado (Versão V0) e tempo absoluto de processamento. Para facilitar a comparação com a outra versão do modelo, a versão com inclusão das restrições de lote mínimo será denominada versão V1.

Os resultados para a versão V1 do modelo são apresentados no anexo III. Os resultados com a inclusão das restrições de lote mínimo além de plausíveis (é razoável pensar em lotes mínimos, mesmo num horizonte de médio prazo) apresentaram um desempenho satisfatório tanto no tempo de processamento necessário para obtenção de uma solução factível (em torno de 10 minutos) como para o erro em relação a versão V0 (abaixo de 1%).

A Tabela 15 apresenta um resumo com as versões utilizadas para construção da solução, seus respectivos valores de função objetivo e tempos de processamento.

Tabela 15 - Resumo das versões para o modelo de otimização

	Características	Custo Total	Tempo
Versão V0	<p>Modelo com relaxamento das restrições lote mínimo.</p> <p>Utilizado para determinar o <i>Lower bound</i> do modelo.</p>	\$ 64.974.455,278	8 segundos
Versão V1	<p>Modelo com alteração das restrições de estoque de segurança p/ semiacabado.</p> <p>(estique de segurança independente para produtos semiacabados)</p>	\$ 65.143.617,164	10 minutos

Com base nos resultados apresentados na Tabela 15 conclui-se que é valida a utilização da versão V1 do modelo como *upper bound*, pois apresenta uma variação muito baixa em relação à solução ótima, além de ter um tempo de processamento inferior a 10 minutos.

6.3. Análise quantitativa do modelo proposto

A Tabela 16 apresenta um comparativo para os valores da função objetivo entre as versões V0 e V1.

Além de não apresentar as deficiências da versão V0 (porcentagem significativa de variáveis abaixo do lote mínimo) a configuração dos estoques na versão V1 apresentou uma diminuição significativa em relação à configuração real dos estoques em 2010. A diminuição média foi de aproximadamente 6%, mas com variações muito grandes no decorrer dos períodos analisados. A Tabela 17 mostra a comparação entre os estoques reais em 2010 e os valores retornados pela versão V1 do modelo.

Tabela 16 - Comparativo entre custo total (V0 x V1)

Tipo de custo	Versão V0	Versão V1	Variação
MDO adicional	\$ 0,00	\$ 0,00	0%
Tecelagem	\$ 30.031.657,08	\$ 30.421.691,73	1,30%
Acabamento	\$ 31.218.981,90	\$ 31.218.981,90	0,00%
Estocagem	\$ 3.347.790,36	\$ 3.502.685,26	4,63%
Transferência México	\$ 79.336,71	\$ 0,00	-100,00%
Transferência AM Sul	\$ 296.162,12	\$ 0,00	-100,00%
Oportunidade	\$ 527,13	\$ 258,27	-51,00%
Total	\$ 64.974.455,30	\$ 65.143.617,16	0,26%

Tabela 17 - Estoque real 2010 x estoque versão v1

Período	Real (MM Metros)	Modelo V1 (MM Metros)	Variação (%)
Período 4 (jan/2010)	5,73	4,36	24%
Período 5 (fev/2010)	5,03	5,11	-2%
Período 6 (mar/2010)	4,86	5,91	-22%
Período 7 (abr/2010)	4,13	5,70	-38%
Período 8 (mai/2010)	4,01	5,41	-35%
Período 9 (jun/2010)	4,22	5,00	-18%
Período 10 (jul/2010)	4,66	4,57	2%
Período 11 (ago/2010)	5,66	4,27	24%
Período 12 (set/2010)	6,06	4,02	34%
Período 13 (out/2010)	5,52	4,21	24%
Período 14 (nov/2010)	5,90	4,76	19%
Período 15 (dez/2010)	4,43	3,15	29%
TOTAL	60,11	56,47	6%

A configuração real do estoque em 2010 apresentou um perfil oposto ao sugerido pelo modelo. Os picos de volume do estoque real estão concentrados nos primeiros períodos enquanto que modelo estão os picos estão concentrados nos últimos períodos de análise. Na Figura 20 é possível perceber claramente a diferença de comportamento dos dois estoques.

6.4. Análise de sensibilidade

Nesta seção são apresentados os resultados da análise de sensibilidade para lote mínimo de produção e demanda pô produto acabado.

A análise de sensibilidade do tamanho do lote tem como objetivo avaliar o tamanho do lote que gera o menor erro na versão v1 do modelo em relação a V0 dado um tempo fixo de processamento para o modelo, já a análise de sensibilidade da demanda tem como objetivo estabelecer o nível ótimo de operação do sistema América do Norte, ou seja, a demanda que produz o menor custo unitário de produção.

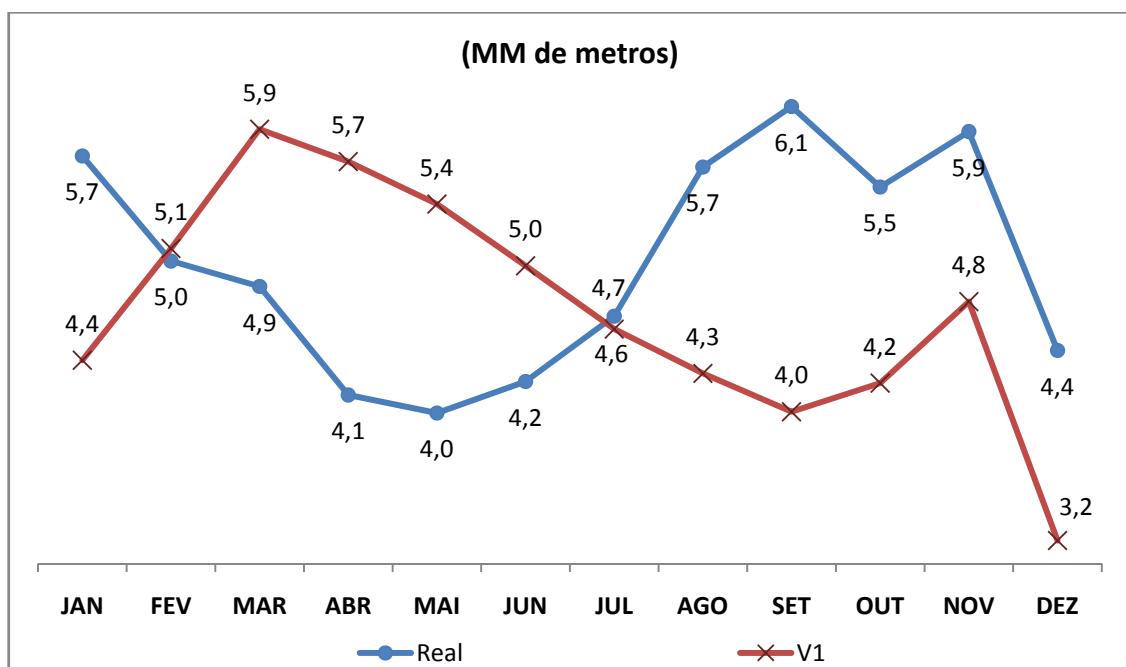


Figura 20 - Comparação do perfil do estoque real 2010 x V1

6.4.1. Análise sensibilidade do lote mínimo

Os bons resultados apresentados pela versão V1 do modelo (erro inferior a 1%, em relação à solução ótima) se devem em grande parte a enorme diferença entre o tempo total disponível e o lote mínimo ($\sim 0,3\%$ do tempo total), tornando essa restrição pouco ativa no modelo. A Tabela 18 mostra como a qualidade da solução factível da versão V1 se comporta em relação ao mínimo V0 à medida que o lote mínimo aumenta. Os resultados destes testes são apresentados no anexo IV. Para essa comparação foi estipulado um tempo de análise igual a 10 minutos, decorrido esse tempo o processamento foi interrompido e os valores das funções objetivo analisadas.

O aumento do lote mínimo provoca um aumento do erro em relação à V0 e consequentemente em relação à solução ótima. Apesar de todos os patamares de lote inferiores a 1000 horas apresentarem soluções satisfatórias tanto em relação ao erro como em relação ao tempo de processamento não há motivos para alteração no tamanho do lote mínimo.

Os testes com lote mínimo superiores a 1000 horas não apresentaram nenhuma solução factível no intervalo de tempo estabelecido (10 minutos).

Tabela 18 - Tamanho do lote x Erro da solução em V1

Lote mínimo	Erro em relação a V0	Nº de violações em V0
400 horas	0,29%	92 variáveis
500 horas	0,32%	95 variáveis
600 horas	0,35%	104 variáveis
700 horas	0,36%	110 variáveis
800 horas	0,94%	119 variáveis
900 horas	0,46%	126 variáveis
1000 horas	0,54%	132 variáveis
1100 horas	Indeterminado	144 variáveis
1200 horas	Indeterminado	153 variáveis
1300 horas	Indeterminado	163 variáveis

6.4.2. Análise sensibilidade da demanda

Estabelecido o melhor lote mínimo para o modelo (seção 6.4.1) uma possível análise é determinar a quantidade de venda que gera o menor custo por unidade produzida.

A análise da demanda ótima será realizada através de incrementos/decrementos constantes na demanda de cada família de produtos em todos os períodos e então o modelo será rodado com o novo nível de demanda e computado o seu custo unitário correspondente. Em posse dos valores tabelados será definida, através de técnicas de análise estatística, a melhor curva de custo unitário em função do volume produzido e por fim estabelecido seu valor mínimo, que será adotado como demanda ótima.

Por questão de praticidade os valores foram calculados com base no modelo V0, os resultados desta análise são apresentados no anexo V. A Tabela 19 apresenta as variações da demanda e seus respectivos impactos no custo de produção.

Tabela 19 - Custo unitário em função da demanda em V0

% da demanda original	Volume demandado	Custo Variável	Custo Total	Custo unitário
90%	48.953.290	\$ 58.123.200,64	\$ 92.123.201	\$ 1,882
92%	49.988.144	\$ 59.456.913,90	\$ 93.456.914	\$ 1,870
94%	51.022.997	\$ 60.805.522,12	\$ 94.805.522	\$ 1,858
96%	52.057.850	\$ 62.173.377,15	\$ 96.173.377	\$ 1,847
98%	53.092.703	\$ 63.559.288,75	\$ 97.559.289	\$ 1,838
100%	54.127.556	\$ 64.974.455,30	\$ 98.974.455	\$ 1,829
102%	55.162.409	\$ 66.433.453,22	\$ 100.433.453	\$ 1,821
104%	56.197.262	\$ 68.661.936,61	\$ 102.661.937	\$ 1,827
106%	57.232.115	\$ 70.323.089,74	\$ 104.323.090	\$ 1,823
108%	58.266.968	\$ 72.104.899,74	\$ 106.104.900	\$ 1,821
110%	59.301.822	\$ 74.376.787,90	\$ 108.376.788	\$ 1,828
112%	60.336.675	\$ 76.151.921,56	\$ 110.151.922	\$ 1,826
114%	61.371.528	\$ 78.015.962,53	\$ 112.015.963	\$ 1,825

A equação que melhor representa a variação do custo unitário em função da demanda total foi calculada utilizando-se o software de estatística *MINITAB*. Os volumes foram imputados em milhões de metros e os custos em unidade monetária. A Figura 21 mostra o resultado do programa para os dados apresentados na Tabela 19.

Portanto a equação que representa o custo unitário pode ser escrita como:

$$Z_u(v) = 9,542 - 0,3712 * v + 0,005913 * v^2 - 0,000031 * v^3$$

No intervalo entre 48,5 milhões de metros e 61,5 milhões de metros o valor mínimo para a função custo ocorre quando o volume v é igual a 56,432 milhões de metros, o que corresponde a aproximadamente 104,25% da demanda no ano de 2010.

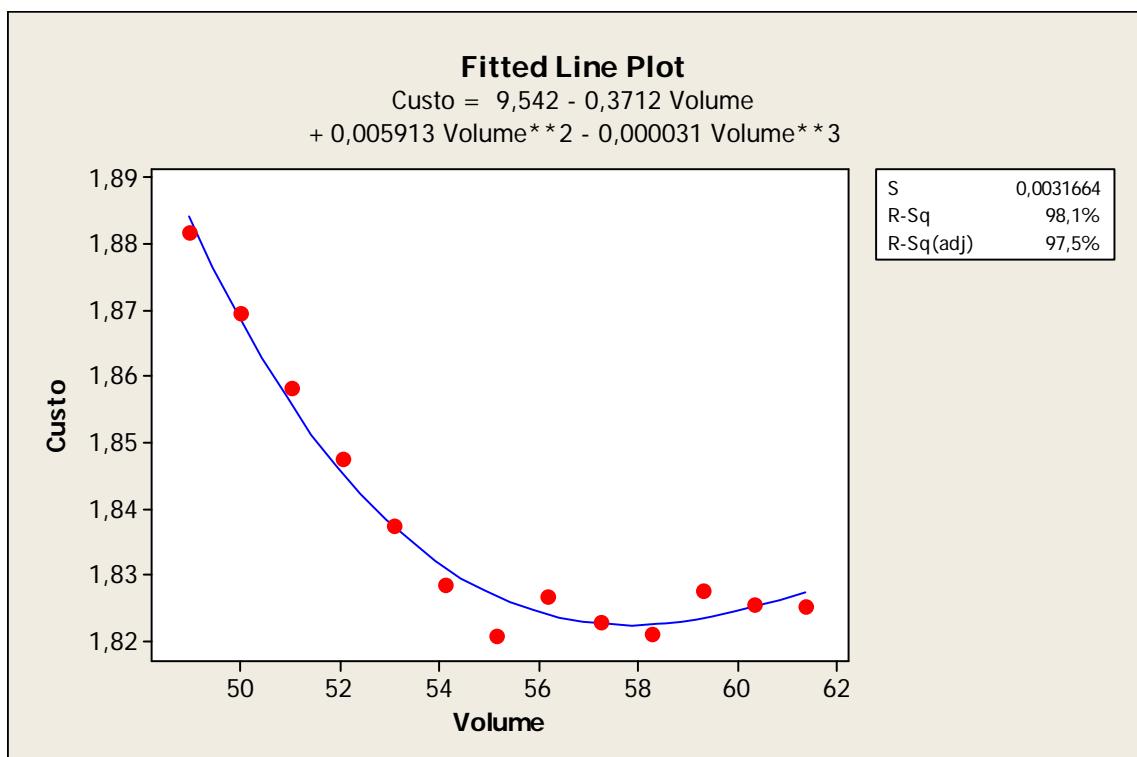


Figura 21 - Resposta do programa MINITAB para equação de custo unitário

7. Conclusão

Neste capítulo, primeiramente é apresentada uma síntese do trabalho. São retomados o problema inicial, a solução proposta e os resultados obtidos. Posteriormente faz-se uma análise crítica sobre o trabalho, considerando-se suas limitações e seus pontos fortes. Por fim, são feitas considerações acerca de possíveis melhorias e incrementos deste trabalho.

7.1. Síntese

A principal deficiência da equipe de planejamento durante a elaboração do planejamento orçamentário anual é o alto gasto de tempo na confecção de planos agregados de produção. Os recursos utilizados atualmente pelo planejamento central da empresa inviabilizam a obtenção de resultados otimizados, diminuindo a capacidade da área de planejamento de contribuir com redução de custos, ponto chave para competitividade nos moldes atuais do mercado.

O trabalho teve seu foco voltado para a proposição de um modelo quantitativo de planejamento agregado de produção que possibilitasse principalmente a economia de tempo na elaboração dos planos por parte da equipe de planejamento, mas que também pudesse contribuir para uma melhora no método utilizado pelos planejadores.

O modelo se mostrou bastante eficiente nesse quesito, produzindo soluções otimizadas para os planos agregados em intervalos de tempo muito inferiores aos praticados na empresa (em torno de 10 minutos). O ganho de tempo na elaboração do PAP possibilita que a equipe de planejamento foque sua atenção na análise de cenários e tenha uma visão mais apurada sobre as possibilidades de redução de custo.

Devido ao alto número de variáveis binárias necessárias para a modelagem das restrições de lote mínimo, utilizou-se um modelo com o relaxamento dessas restrições para servir de limitante inferior e guia sobre a qualidade da solução alcançada pelo modelo de programação mista. As soluções encontradas pelo modelo, apesar de não serem ótimas, são factíveis e apresentaram distanciamento inferior a 2% do ótimo global (solução compreendida entre as soluções do modelo relaxado e do modelo completo).

Após a validação do modelo foram realizados testes de análise de sensibilidade com dois parâmetros do modelo: tamanho do lote e demanda por produto acabado. A análise do tamanho do lote mostrou, como esperado, que o aumento do lote mínimo de produção provoca o aumento no tempo de mínimo de processamento e incrementos no custo total de produção. Com a variação da demanda por produtos pode-se estabelecer o nível de operação que gera o menor custo unitário de produção.

7.2. Análise crítica

Apesar de trazer ganhos expressivos à rotina de elaboração do PAP, o modelo apresenta algumas limitações que devem ser ponderadas pelos planejadores ao utilizá-lo. As principais limitações são referentes à contratação de mão de obra adicional e alta sensibilidade do modelo aos parâmetros de rendimento.

A consideração de um turno extra de operação pode ser mais bem modelado flexibilizando-se os períodos de contratação e descarte do turno adicional. O modelo atual considera que as contratações podem ocorrer apenas no início de cada trimestre e que não há possibilidade de descartar as horas contratadas antes do término da vigência do plano. O ideal seria viabilizar a contratação de um turno adicional em qualquer um dos períodos e o descarte fosse possível após um intervalo de tempo determinado (período mínimo exigido por lei). Vale ressaltar que essas mudanças significam adicionar mais variáveis binárias ao modelo aumentando sua complexidade.

Os parâmetros do modelo como velocidade dos teares e rendimento do processo de acabamento, devem muito bem dimensionados pelos planejadores, pois pequenos desvios nesses parâmetros podem gerar metas ou muito frouxas ou metas inatingíveis na prática.

As principais vantagens da abordagem apresentada nesse trabalho são o software utilizado (*WHAT'S BEST*), o fato dele rodar em ambiente Excel e a concentração das informações de controle em um único ambiente.

A empresa já possui uma licença do software *WHAT'S BEST* reduzindo o custo de implementação da solução ao custo de treinamento da equipe e tempo de input dos dados de entrada do modelo.

O fato de o modelo apresentar a solução em plataforma Excel, software largamente utilizado na empresa, facilita a utilização do modelo e manipulação dos resultados. Os parâmetros de controle como rendimento, encolhimento e velocidade dos teares podem ser monitorados ao alterados de forma fácil e rápida pelos usuários.

7.3. Desdobramentos

Para que as melhorias trazidas pela mudança de método na obtenção do plano agregado de produção sejam maximizadas é necessário que as equipes de marketing e comercial adotem em conjunto com o planejamento uma sequencia maior de revisões das metas de venda e consequentes revisões do PAP, sem encurtarem o horizonte de planejamento. As revisões deveriam ser elaboradas mensalmente, o que a longo prazo diminuiria muito a carga de trabalho as vésperas da entrega do planejamento orçamentário da empresa.

Apesar de ter sido modelado e testado de forma específica para as plantas da América do Norte o modelo pode, com pequenas modificações (adequação do número de plantas e número de famílias), ser utilizado pelas equipes de planejamento das demais regiões. Mesmo que de forma isolada a introdução de ferramentas de pesquisa operacional na rotina da equipe de planejamento pode contribuir para gerar uma cultura onde as ferramentas tecnológicas e técnicas matemáticas possam ter maior destaque na resolução de problemas.

7.4. Considerações finais

Por fim, é importante registrar que este trabalho proporcionou uma grande oportunidade de aprendizado ao autor, pois foi uma excelente oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos e conceitos de engenharia de produção aprendidos durante o curso.

Sendo assim, os principais objetivos deste trabalho de formatura foram alcançados. Houve uma contribuição real do autor à empresa analisada e a união entre vivencia acadêmica e experiência prática foi atingida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNOLD, J. R. Tony., **Administração de materiais: uma introdução**, Tradução: Celso Rimoli; Lenita R. Esteves, São Paulo: Atlas, 1999.
- BIXBY R. E.; GREGORY J. W.; LUSTING I. J.; MARSTEN R. E. e SHANNO D. F., “Very large-scale linear programming: a case study in combining interior point and simplex methods” **Operations Research Vol. 40, nº 5, 885-897**, 1992.
- BOWMAN, E. H., “Production scheduling by the transportation method of linear programming” **Operations Research, Vol. 4 - nº 1, 100-103**, 1956.
- COMELLI, M.; GOURGAND, M.; LEMOINE, D. “A Review of Tactical Planning Models” **Journal of Systems Science and Systems Engineering, Vol. 17 – nº 2, 204-229**, 2008.
- CORRÊA, H.L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II/ERP- conceitos, uso e implantação**. São Paulo: Gianesi Corrêa & Associados: Atlas, 1997.
- CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C.A. **Administração de Produção e de Operações: Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**, São Paulo: Atlas 2005.
- HAX, A.C., “Aggregate production planning” In J. Moders and S. Elmaghraby (editors), **Handbook of operations research**. New York: VanNostrand reinhold., 1978.
- HAX, A.C.; CANDEA D. **Production and inventory management**. Englewood Cliffs: Prencitce-Hall., 1984.
- HAX A.C.; MEAL, H.C. “Hierarchical Integration of Production Planning and Scheduling” In: M.A. GEISLER (ed.), **Studies in Management Science**, Amsterdam: North Holland, v.1, p.53-69, 1975.
- HOPP, W.J.; SPEARMAN, M.L., **Factory Physics**. 3.ed. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2008.
- IEMI. **Relatório setorial da indústria têxtil brasileira**. 2007.
- MAGEE, J. F. **Production planning and inventory control**. New York: McGraw-Hill book company., 1958.

- MCGARRAH, R.E., **Production and logistics management**. John Wiley & Sons, Inc., 1963.
- MINTZBERG, H. **Criando organizações eficazes**. Segunda edição, São Paulo: Editora Atlas S.A. 2003.
- Relatório interno de processos de fabricação Tavex.
- Relatório público Tavex. **Presentacion en La bolsa de Madrid**. 2010.
- SHAPIRO, J. F. **Modeling the Supply Chain**. Pacific Grove, CA: Duxbury, 2001.
- VARIOS COLABORADORES. **Santista têxtil: Uma história de inovações, 75 anos**. CLA Comunicações. 2004.
- ZAGO, G. **Otimização da composição da matéria prima para uma indústria têxtil de grande porte**. 2005, 96p. Dissertação (trabalho de formatura) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2005.

Anexos

I. Etapas do processo produtivo

Matéria prima

- a) **Algodão:** É a matéria prima mais conhecida da indústria têxtil. É uma fibra natural e apresenta as seguintes características importantes para o processo: Hidrofilidade, Resistência (à tração e à abrasão), micronaire, comprimento, cor, toque, resiliência e flexibilidade, maiores informações sobre as características do algodão podem ser vistas no trabalho de Zago (2005).
- b) **Usina de algodão:** Recebe o algodão bruto e realiza a separação de impurezas. Também efetua a classificação do algodão de acordo com suas características. O resultado do processo são os fardos de algodão com peso aproximado de 200 kg.

Fiação

Processos comuns:

- a) **Abertura:** Consiste em abrir os fardos de algodão prensado, limpando o restante das impurezas e homogeneizando a massa de fibras, formando mantas que alimentarão as cardas.
- b) **Carda:** Transforma a manta de algodão em uma fita, que já possui a limpeza definitiva e uma paralelização inicial.
- c) **Passadeira:** Transforma várias fitas de carda em uma única fita, com melhor paralelização e correção de irregularidades. Normalmente se faz duas passagens pela passadeira.
- d) **Reunideira:** Reúne as fitas de algodão que saem da passadeira numa manta homogênea para permitir o processo de penteagem.
- e) **Penteadeira:** Processo opcional que permite obter maior grau de paralelização, limpeza e uniformidade de comprimento das fibras. Recomendado para fios muito finos, atribuindo ao produto acabado melhor toque, brilho e aspecto.

No processo produtivo, se realiza entre a primeira e a segunda passadeira.

Processos exclusivos *ring*:

- f) **Maçaroqueira:** Transforma a fita resultante da passadeira em um pavio, através de estiragem e torção. Esse processo é exclusivo da fiação convencional (tipo *ring*).
- g) **Filatório:** Última etapa do processo de fiação *ring*, na qual são aplicadas torções e estiragem definitivas, obtendo-se o fio.

Processo exclusivo *open-end*

- h) ***Open-end*:** Transforma a fita exclusiva da passadeira diretamente em fio. Ao contrário do processo tradicional (estiragem e torção) o fio “*open-end*” se obtém através de um embaracamento de fibras, que se produz dentro de um rotor de alta velocidade, por força centrifuga.

Tecelagem

- a) **Conicaleira:** Tem como função, eliminar as irregularidades do fio e acondicioná-lo em cones grandes chamados “queijos”, o que permitirá maior produtividade nas fases posteriores.
- b) **Ball Warper:** Reúne muitos fios em um único cabo sem retorcê-los. Cada grupo de fios, denominado corda, alimentará a máquina de tingimento índigo.
- c) **Tingimento:** O tingimento índigo se faz com uma grande quantidade de cordas simultaneamente. Esse processo consiste em submergir os fios em banho o corante está solubilizado e reduzido; ao sair deste banho se dá o contato com o ar, onde o corante se oxida. O processo de tingimento afeta os fios apenas superficialmente, ficando seu núcleo intacto, o que proporciona uma ampla gama de efeitos possíveis em processos posteriores ou até mesmo com o uso das peças pelo consumidor final.
- d) **Rebeamer:** Máquina na qual os fios em cordas, já tintos, são repassados a um rolo, que servirá para alimentar a engomadeira.
- e) **Engomadeira:** Nesta máquina se faz a engomagem dos fios, visando aumentar a resistência do urdume, que sofre muita tensão e fricção no tear.

f) **Tear:** Nome que se dá a máquina de tecer. No caso de tecidos planos o processo de tecer se divide em três movimentos básicos

- **Abertura da cala:** É a divisão dos fios de urdume em dois grupos distintos.
- **Inserção da trama:** Introduz o fio de trama na cala. Para conduzir o fio de trama pode se utilizar diversas formas distintas como, por exemplo, lançadeira, projétil, jato de ar ou água.
- **Batida do pente:** Nesta batida a trama, que acabou de ser inserida, é empurrada contra o urdume, formando o tecido.

Beneficiamento

- a) **Chamuscagem:** Processo em que se eliminam as fibras soltas e/ou curtas através de chamas.
- b) **Desengomagem:** Retirada da goma do fio de urdume que, depois de ter sido muito útil para evitar a quebra dos fios no tear, passa a ser um problema no beneficiamento, pois se torna uma barreira entre as fibras e os produtos químicos.
- c) **Desvio de Trama:** Onde são feitas correções na trama do tecido, o processo consiste em tracionar o tecido nos dois sentidos para a correção de possíveis desvios.
- d) **Pré-encolhimento:** Nesta etapa, se antecipa o encolhimento natural do tecido. Basicamente, o tecido é umedecido e seco com uma diferença de velocidade entre a entrada e a saída da máquina.

Depois que o tecido é acabado ele é classificado de acordo com seus atributos de qualidade. Os dois mais conhecidos são **Pontos** e **Nuance**.

- a) **Pontos/100m²:** Critério adotado internacionalmente onde para cada falha se admite uma pontuação, que pode variar de 1 até 4 pontos. De acordo com a pontuação o tecido é classificado com sendo de primeira ou segunda qualidade. A quantidade limite de pontos para a primeira qualidade varia de empresa para empresa.

- b) *Nuance*:** Representa as possíveis variações de tonalidade e intensidade da cor do tecido em relação à cor padrão.

II. Resultados no modelo Relaxado (Versão V0)

What'sBest!® 8.0 (Mar 01, 2006) - Status Report -

DATE GENERATED: mai 29, 2011 07:38 PM

MODEL INFORMATION:

CLASSIFICATION DATA	Current	Capacity	Limits
Numerics	17050		
Variables	35214		
Adjustables	7058	32000	
Constraints	11972	16000	
Integers/Binaries	0/8	3200	
Nonlinears	0	3200	
Coefficients	75622		

Minimum coefficient value: 9.3791641120333e-012 on <RHS>
 Minimum coefficient in formula: Transf CRU!BJ48
 Maximum coefficient value: 603472.46 on <RHS>
 Maximum coefficient in formula: Estoque ACABADO!E39

MODEL TYPE: Mixed Integer / Linear

SOLUTION STATUS: GLOBALLY OPTIMAL

OBJECTIVE VALUE: 64974455.297623

DIRECTION: Minimize

SOLVER TYPE: Branch-and-Bound

TRIES: 11609

INFEASIBILITY: 5.8571458794177e-008

BEST OBJECTIVE BOUND: 64974455.297623

STEPS: 0

ACTIVE: 0

SOLUTION TIME: 0 Hours 0 Minutes 7 Seconds

NON-DEFAULT SETTINGS:

General Options / Solution Report: Always Created Detail
 General Options / Warning Reference to Blank Cell: On
 General Options / Warning Infeasible Constraint: On

ERROR / WARNING MESSAGES:

WARNING

Blank Cell Warning (Help Reference: BLKCELL):
 Blank cells have been referenced in formulas. During the solution process, their
 values have been taken to be zero. This warning can be turned off via the
 WB|Options|General menu
 (cell addresses listed at bottom of tab).

III. Resultados no modelo Completo (Versão V1)

MODEL INFORMATION:

CLASSIFICATION DATA	Current	Capacity	Limits
Numerics	21078		
Variables	39295		
Adjustables	8408	32000	
Constraints	13547	16000	
Integers/Binaries	0/3158	3200	
Nonlinears	0	3200	
Coefficients	80709		

Minimum coefficient value: 0.01 on Problema!Q24
 Minimum coefficient in formula: Problema!D11
 Maximum coefficient value: 603472.46 on <RHS>
 Maximum coefficient in formula: Estoque ACABADO!E39

MODEL TYPE: Mixed Integer / Linear

SOLUTION STATUS: FEASIBLE

OBJECTIVE VALUE: 65143617.164557

DIRECTION: Minimize

SOLVER TYPE: Branch-and-Bound

TRIES: 1778276

INFEASIBILITY: 3.1791278161108e-006

BEST OBJECTIVE BOUND: 65129064

STEPS: 18031

ACTIVE: 3015

SOLUTION TIME: 0 Hours 10 Minutes 14 Seconds

NON-DEFAULT SETTINGS:

General Options / Solution Report: Always Created Detail
 General Options / Warning Reference to Blank Cell: On
 General Options / Warning Infeasible Constraint: On

WARNING

Solver Interrupt (Help Reference: INTERRUPT):
 The solver was interrupted before finding the final solution. Check the solution
 carefully; it may be sub-optimal or infeasible.

End of Report

IV. Análise de sensibilidade: Lote Mínimo

LOTE 400 HORAS

What'sBest!® 8.0 (Mar 01, 2006) - Status Report -

DATE GENERATED: jun 01, 2011 03:28 PM

* INTERRUPTED *

MODEL INFORMATION:

CLASSIFICATION DATA	Current	Capacity	Limits
Numerics	21078		
Variables	39295		
Adjustables	8408	32000	
Constraints	13547	16000	
Integers/Binaries	0/3158	3200	
Nonlinears	0	3200	
Coefficients	80709		

Minimum coefficient value: 0.01 on Problema!Q24
 Minimum coefficient in formula: Problema!D11
 Maximum coefficient value: 603472.46 on <RHS>
 Maximum coefficient in formula: Estoque ACABADO!E39

MODEL TYPE: Mixed Integer / Linear

SOLUTION STATUS: FEASIBLE

OBJECTIVE VALUE: 65160943.163171

DIRECTION: Minimize

SOLVER TYPE: Branch-and-Bound

TRIES: 905217

INFEASIBILITY: 4.706439540314e-007

BEST OBJECTIVE BOUND: 65136260

STEPS: 25388

ACTIVE: 10028

SOLUTION TIME: 0 Hours 10 Minutes 19 Seconds

NON-DEFAULT SETTINGS:

General Options / Solution Report: Always Created Detail
 General Options / Warning Reference to Blank Cell: On
 General Options / Warning Infeasible Constraint: On

WARNING

Solver Interrupt (Help Reference: INTERRUPT):
 The solver was interrupted before finding the final solution. Check the solution carefully; it may be sub-optimal or infeasible.

End of Report

LOTE 700 HORAS

What'sBest!® 8.0 (Mar 01, 2006) - Status Report -

DATE GENERATED: jun 01, 2011 03:56 PM

* INTERRUPTED *

MODEL INFORMATION:

CLASSIFICATION DATA	Current	Capacity	Limits
Numerics	21078		
Variables	39295		
Adjustables	8408	32000	
Constraints	13547	16000	
Integers/Binaries	0/3158	3200	
Nonlinears	0	3200	
Coefficients	80709		

Minimum coefficient value: 0.01 on Problema!Q24
 Minimum coefficient in formula: Problema!D11
 Maximum coefficient value: 603472.46 on <RHS>
 Maximum coefficient in formula: Estoque ACABADO!E39

MODEL TYPE: Mixed Integer / Linear

SOLUTION STATUS: FEASIBLE

OBJECTIVE VALUE: 65207985.293049

DIRECTION: Minimize

SOLVER TYPE: Branch-and-Bound

TRIES: 752865

INFEASIBILITY: 1.9284198060632e-007

BEST OBJECTIVE BOUND: 65187752

STEPS: 13879

ACTIVE: 4333

SOLUTION TIME: 0 Hours 10 Minutes 5 Seconds

NON-DEFAULT SETTINGS:

General Options / Solution Report: Always Created Detail
 General Options / Warning Reference to Blank Cell: On
 General Options / Warning Infeasible Constraint: On

WARNING

Solver Interrupt (Help Reference: INTERRUPT):
 The solver was interrupted before finding the final solution. Check the solution carefully; it may be sub-optimal or infeasible.

End of Report

LOTE 900 HORAS

What'sBest!® 8.0 (Mar 01, 2006) - Status Report -

DATE GENERATED: jun 01, 2011 05:18 PM

* INTERRUPTED *

MODEL INFORMATION:

CLASSIFICATION	DATA	Current	Capacity	Limits
Numerics		21078		
Variables		39295		
Adjustables		8408	32000	
Constraints		13547	16000	
Integers/Binaries		0/3158	3200	
Nonlinears		0	3200	
Coefficients		80709		

Minimum coefficient value: 0.01 on Problema!Q24
 Minimum coefficient in formula: Problema!D11
 Maximum coefficient value: 603472.46 on <RHS>
 Maximum coefficient in formula: Estoque ACABADO!E39

MODEL TYPE: Mixed Integer / Linear

SOLUTION STATUS: **FEASIBLE**

OBJECTIVE VALUE: 65274471.984394

DIRECTION: Minimize

SOLVER TYPE: Branch-and-Bound

TRIES: 1292797

INFEASIBILITY: 7.537892088294e-009

BEST OBJECTIVE BOUND: 65229272

STEPS: 24922

ACTIVE: 2673

SOLUTION TIME: 0 Hours 10 Minutes 7 Seconds

NON-DEFAULT SETTINGS:

General Options / Solution Report: Always Created Detail
 General Options / Warning Reference to Blank Cell: On
 General Options / Warning Infeasible Constraint: On

WARNING

Solver Interrupt (Help Reference: INTERRUPT):
 The solver was interrupted before finding the final solution. Check the solution
 carefully; it may be sub-optimal or infeasible.

End of Report

V. Análise de sensibilidade: Demanda

90% da demanda

What'sBest!® 8.0 (Mar 01, 2006) - Status Report -

DATE GENERATED: jun 02, 2011 06:33 AM

MODEL INFORMATION:

CLASSIFICATION DATA	Current	Capacity	Limits
Numerics	17074		
Variables	35214		
Adjustables	7058	32000	
Constraints	11972	16000	
Integers/Binaries	0/8	3200	
Nonlinears	0	3200	
Coefficients	75622		

Minimum coefficient value: 9.3791641120333e-012 on <RHS>
 Minimum coefficient in formula: Transf CRU!BJ48
 Maximum coefficient value: 603472.46 on <RHS>
 Maximum coefficient in formula: Estoque ACABADO!E39

MODEL TYPE: Mixed Integer / Linear

SOLUTION STATUS: GLOBALLY OPTIMAL

OBJECTIVE VALUE: 58123200.636516

DIRECTION: Minimize

SOLVER TYPE: Branch-and-Bound

TRIES: 10575

INFEASIBILITY: 1.9913386495318e-009

BEST OBJECTIVE BOUND: 58123200.636516

STEPS: 0

ACTIVE: 0

SOLUTION TIME: 0 Hours 0 Minutes 3 Seconds

NON-DEFAULT SETTINGS:

General Options / Solution Report: Always Created Detail
 General Options / Warning Reference to Blank Cell: On
 General Options / Warning Infeasible Constraint: On

110% da demanda

What'sBest!® 8.0 (Mar 01, 2006) - Status Report -

DATE GENERATED: jun 02, 2011 06:15 AM

MODEL INFORMATION:

CLASSIFICATION DATA	Current	Capacity	Limits
Numerics	17074		
Variables	35214		
Adjustables	7058	32000	
Constraints	11972	16000	
Integers/Binaries	0/8	3200	
Nonlinears	0	3200	
Coefficients	75622		

Minimum coefficient value: 9.3791641120333e-012 on <RHS>
 Minimum coefficient in formula: Transf CRU!BJ48
 Maximum coefficient value: 635909.5 on <RHS>
 Maximum coefficient in formula: Consumo Acabado!AD112

MODEL TYPE: Mixed Integer / Linear

SOLUTION STATUS: GLOBALLY OPTIMAL

OBJECTIVE VALUE: 74376787.901677

DIRECTION: Minimize

SOLVER TYPE: Branch-and-Bound

TRIES: 67445

INFEASIBILITY: 4.5693013817072e-009

BEST OBJECTIVE BOUND: 74376787.901677

STEPS: 11

ACTIVE: 0

SOLUTION TIME: 0 Hours 0 Minutes 14 Seconds

NON-DEFAULT SETTINGS:

General Options / Solution Report: Always Created Detail
 General Options / Warning Reference to Blank Cell: On
 General Options / Warning Infeasible Constraint: On