

MILTON MINORU MIYAMOTO

**REVISÃO DO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO EM
UMA PLANTA FABRICANTE DE PLÁSTICOS E COMPOSTOS DE
ENGENHARIA PARA O SETOR AUTOMOTIVO**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do diploma
de Engenheiro de Produção

Orientador:

Prof. Dr. Miguel Cezar Santoro

São Paulo

2004

hf 2004
M 699 r

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Yoshikazu e Agnes, por tudo o que fizeram por mim ao longo de todos esses anos da minha existência.

À minha irmã Miriam, pelo apoio, ensinamento e paciência em todas as etapas da minha vida.

Ao professor Miguel Cezar Santoro pela orientação proporcionada no desenvolvimento deste trabalho.

Aos bons amigos politécnicos que estiveram a meu lado durante esses anos da faculdade e tornaram esta uma jornada mais rica, alegre e menos desgastante.

A Alexandre Fernandes e Vinnicius Balogh pela orientação, suporte e aprendizado proporcionados ao longo de todo o período de estágio na empresa.

A todos que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido em uma planta fabricante de plásticos e compostos de engenharia que atende a empresas do setor automotivo, cujo sistema produtivo caracteriza-se como sendo do tipo intermitente repetitivo.

Nela foi abordado o problema de planejamento da produção através da utilização da modelagem de planejamento agregado da produção, que melhor se enquadrava às características deste sistema.

O objetivo consistiu em estabelecer um instrumento formal de planejamento que subsidiasse de forma consistente as decisões sobre nível de utilização dos recursos, produção e inventário, entre outros, de forma a atender às exigências e especificidades da demanda do setor na qual ela se insere como fornecedora, de forma satisfatória, ao menor custo total de produção possível.

ABSTRACT

The present study was developed at a plastic manufacturing plant which provides engineering compounds to the Automotive Industry, whose production system is characterized by an intermittent and repetitive production model.

The production planning issue identified at the plant was dealt by using an aggregate production planning modeling approach, which better fit to the features of this production system.

The objective consisted in establishing a formal tool of planning which could support decisions about the resources, production and inventory levels, among others, in a consistent way, to meet fluctuating demand requirements and thus providing a satisfactory service level perceived by its customers at the lowest total production cost possible.

SUMÁRIO

1. Apresentação da Empresa.....	12
1.1 A Empresa.....	13
1.2 O Estágio.....	15
1.3 Características do Sistema Produtivo	16
1.3.1 Os Produtos	16
1.3.2 Dados de Operação	18
1.3.3 Processo de Produção	19
2. O Problema.....	23
2.1 Introdução	24
2.2 Definição do Problema	24
2.2.1 Fatores Contribuintes Externos e Internos ao Sistema Produtivo	24
2.2.2 O Problema.....	30
2.3 O Processo de Planejamento Atual.....	30
2.4 Objetivo do Trabalho.....	31
2.5 Justificativa do Trabalho.....	31
3. Revisão Bibliográfica.....	33
3.1 Introdução	34
3.2 Planejamento da Produção.....	34
3.3 Hierarquia de Planejamento	35
3.4 Tipos de Produção Versus Modelos de Planejamento.....	36
3.4.1 Tipos de Produção	36
3.4.2 Modelos de Planejamento	39
3.5 O Planejamento Agregado da Produção	41
3.6 Variáveis de Decisão em Planejamento Agregado.....	43
3.7 Modelos de Planejamento Agregado.....	45

4. Dados para o Planejamento Agregado.....	47
4.1 Introdução	48
4.2 Produtos	49
4.2.1 Famílias de Produtos para o Planejamento Agregado	50
4.3 Demanda	54
4.3.1 Horizonte de Planejamento	54
4.3.2 Obtenção dos Dados de Demanda	55
4.4 Centros de Trabalho.....	56
4.5 Custos	58
4.5.1 Custo Unitário de Produção	58
4.5.2 Custo das Horas.....	59
4.5.3 Custo Unitário de Estoque	60
4.5.4 Custo de Falta.....	61
4.5.5 Penalidades.....	61
5. Desenvolvimento do Modelo Matemático.....	62
5.1 Introdução	63
5.2 Modelo Matemático de Custo Linear	64
5.3 Adequação do Modelo às Condições do Problema	67
5.4 Implementação do Modelo em Software	69
6. Resultados e Análises.....	72
6.1 Resultados	73
6.2 Análise dos Resultados	76
6.2.1 Níveis de Produção e Faltas	77
6.2.2 Níveis de Estoque	79
6.2.3 Uso dos Centros de Trabalho	81
6.3 Análise com Aumento de Demanda	82
6.5 Comentários	85
7. Conclusões	87
7.1 Conclusões Finais.....	88

8. Bibliografia	.91
9. Anexos.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estrutura de Negócios Global	14
Figura 1.2 –Árvore do produto	16
Figura 1.3 – Resina Extrudada e Salt & Pepper	17
Figura 1.4 - Fluxograma da produção de extrudado	21
Figura 1.5 - Fluxograma da produção de Salt & Pepper.....	22
Figura 2.1 –Hierarquia de fornecimento da cadeia automotiva	26
Figura 2.2 –Volume de produção da planta (1997-2001)	28
Figura 3.1 – Hierarquia de Planejamento – Exemplo com 3 Níveis.....	35
Figura 4.1 – Famílias de compostos	49
Figura 4.2 – MTS e MTO.....	51
Figura 4.2 – Alocação dos MTO/MTS nos centros de trabalho CT	53
Figura 5.1 – Disposição na planilha dos dados para o planejamento e Função Objetivo	69
Figura 5.2 – Disposição na planilha das variáveis de decisão do planejamento	71
Figura 5.3 – Layout da tela de planejamento no Excel	71
Figura 6.1 – Capacidade CT3 versus demanda agregada B+H.....	78
Figura 6.2 – Plano Versus Demanda para a Família H.....	79
Figura 6.3 – Plano Versus Demanda para a Família B com formação de estoques em t=1,2,3,4.....	80
Figura 6.4 Ociosidade nos centros.....	83
Figura 6.5 – Plano Versus Demanda seguindo a lógica das estratégias de produção..	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Turnos de produção da planta.....	18
Tabela 3.1 – Tipos de Produção	38
Tabela 3.2 – Tipos de Produção X Modelos de Planejamento e Programação da Produção	41
Tabela 3.3 – Variáveis de decisão e custos associados.....	43
Tabela 4.1 – Níveis de Agregação das Informações.....	48
Tabela 4.2 – Famílias de produtos para o planejamento agregado.....	53
Tabela 4.3 – Previsão de vendas das famílias em 6 meses	55
Tabela 4.4 – Centros de Trabalho.....	56
Tabela 4.5 – Disponibilidade dos Centros de Trabalho	57
Tabela 4.6 – Consumo das famílias nos Centros de Trabalho	58
Tabela 4.7 – Custos unitários de produção das famílias	59
Tabela 4.8 – Custos unitários de estoque das famílias.....	60
Tabela 4.9 – Penalidade associada à mudança de Centro de Trabalho base.....	61
Tabela 6.1 – Saídas da simulação: níveis de produção, estoques e faltas (1)	74
Tabela 6.2 – Saídas da simulação: níveis de produção, estoques e faltas (2)	74
Tabela 6.3 – Saídas da simulação: níveis utilização dos recursos (1)	75
Tabela 6.4 – Saídas da simulação: níveis utilização dos recursos (2)	75
Tabela 6.5 – Função Objetivo: Custos para o plano de produção elaborado	76
Tabela 6.6 – Níveis de produção e faltas nas famílias.....	77
Tabela 6.7 – Níveis de estoque nas famílias	79
Tabela 6.8 – Consumo das horas normais nos centros	81
Tabela 6.9 – Consumo das horas extras nos centros.....	81
Tabela 6.10 – Ociosidade nos centros.....	81
Tabela 6.11 – Faltas para o cenário de incremento de 10% na demanda original.....	83
Tabela 6.10 – Ociosidade nos centros.....	84

1. Apresentação da Empresa

1.1 A Empresa

O trabalho de formatura foi desenvolvido em uma das plantas pertencentes à empresa na qual o autor estagiou durante um ano. A empresa é uma indústria multinacional presente há mais de 100 anos, atuante no setor químico e petroquímico e que fornece produtos químicos, plásticos, agrícolas e serviços para consumidores em mais de 180 países, em uma ampla variedade de mercados considerados vitais para o progresso humano, entre os quais se destacam:

- Alimentos e embalagens para alimentos
- Automotivo e de transporte
- Cuidados com o lar e melhorias
- Eletrônicos e entretenimento
- Higiene pessoal e uso doméstico
- Manutenção e construção de prédios
- Móveis e acessórios
- Papel e impressão
- Purificação de água
- Saúde e medicina

Presente em todas as seis regiões geográficas do globo – América do Norte, América Latina, Ásia-Pacífico, África e Oriente Médio – atuando em mais de 180 países, conduz suas operações através de estruturas de negócios globais, que são agregados em segmentos de operação reportáveis baseados na natureza dos produtos e processos produtivos, mercado de uso final, canais de distribuição e legislação pertinente ao meio. São eles:

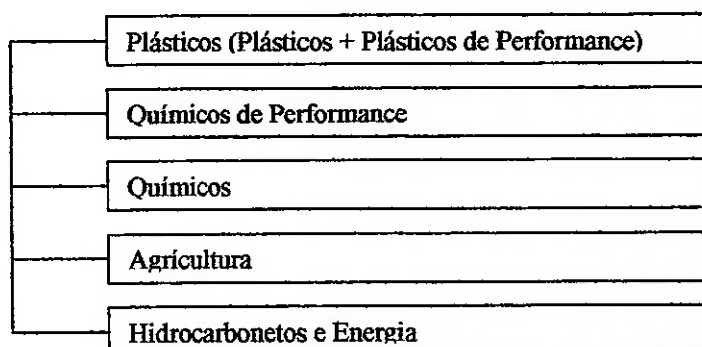


Figura 1.1 – Estrutura de Negócios Global

Elaborado pelo autor

Dentro do portfólio de Plásticos está alocado o negócio de Aplicações Automotivas. Esta unidade de negócio é a primeira da companhia focada em um setor, oferecendo aos diversos agentes da cadeia produtiva, das montadoras¹ – aos *Tiers*² de diversos níveis, bem como para o chamado mercado de reposição (*Aftermarket*) uma gama de soluções de engenharia para esta Indústria, divididas nas seguintes categorias:

- Plásticos
- Fluidos
- Adesivos para Plástico / Vidro
- Sistemas Estruturais
- Produtos Diversificados

Dentre a extensa lista de materiais e sistemas fornecidos que compõe cada categoria incluem-se polipropileno, náilon, ABS³, policarbonato (PC), SAN⁴, polímeros cristalinos, uretanos termoplásticos, filmes adesivos, compostos de plásticos de engenharia (como PC/ABS), poliuretanas, resinas de vinil éster, fluidos de freio, sistemas de colagem de vidro, adesivos estruturais, compostos reforçados, sistemas selantes, espumas acústicas / estruturais, sistemas de amortecimento acústico,

¹ Também designadas pelo termo *Original Equipment Manufacturers (OEM)*.

² *Tier*, do inglês camada, representa cada nível ocupado pelos agentes da cadeia de fornecimento automotiva. Será explicado de forma mais detalhada no 2º. Capítulo deste trabalho.

³ Acrilonitrila-Butadieno-Estireno. Copolímero termoplástico, de menor viscosidade que um elastômero e muito utilizado devido à sua excelente tenacidade e baixo custo.

⁴ Estireno-Acrilonitrila. Fase do copolímero ABS.

materiais leves para absorção de som, barreiras para a lateral de cabine moldada por injeção, tampas de motores, amortecedores de ruído, entre outros.

A planta em que foi realizado este trabalho é um dos complexos fabris que compõe a operação do negócio de Aplicações Automotivas no Brasil, adquirida em 1998 pela companhia. Localizada na Zona Norte de São Paulo ela é a responsável pela produção e fornecimento de plásticos e compostos de engenharia para este mercado.

1.2 O Estágio

O contato com a empresa foi proporcionado pelo estágio realizado pelo autor no período compreendido entre Janeiro e Dezembro de 2004, na área de Cadeia de Suprimentos da companhia. Dentro dela o autor esteve envolvido em atividades relacionadas a duas funções:

1. Logística – Portfólio de Plásticos
2. Planejamento da Produção – Unidade de negócio de Aplicações Automotivas

As atividades desempenhadas sob orientação do analista logístico de plásticos e do planejador de negócio de aplicações automotivas permitiram ao autor conhecer de forma abrangente os processos de trabalho destas duas funções.

Embora o estágio tenha sido desenvolvido no escritório central, o autor teve oportunidade de conhecer uma parte dos complexos industriais da companhia e de ter contato com o pessoal das áreas de produção, qualidade, logística, entre outros setores dos mesmos, tanto através de visitas in loco quanto por meio de reuniões nas quais esteve envolvido. Com isso foi possível vislumbrar diversas possibilidades de estudo e intervenção para elaboração do TF.

Contudo, foi em uma das plantas pertencentes ao negócio destinado à indústria automobilística, com a qual o autor teve mais contato, é que o autor enxergou, em conjunto com o planejador de negócio, maior potencial de realização de um trabalho

de melhoria no tocante à parte de planejamento de produção em aplicações automotivas. No próximo item serão descritas as características deste sistema produtivo.

1.3 Características do Sistema Produtivo

1.3.1 Os Produtos

A planta produz uma ampla variedade de produtos, aproximadamente 300 tipos, dos quais 160 estão ativos e 50 representam 80% do volume produzido pela planta.

Os produtos fabricados são plásticos especiais de engenharia que constituídos basicamente de compostos à base de resina polimérica (polipropileno, policarbonato, poliamida, ABS) aos quais podem ser adicionados carga mineral (talco, carbonato de cálcio, fibra de vidro), concentrado de cor (*masterbatch*) e aditivos de performance (retardante de chama, absorvedor de raios ultra-violeta, etc).



Figura 1.2 –Árvore do produto

Elaborado pelo autor

Eles podem ser agrupados nas seguintes famílias em função da resina base utilizada:

Família 1: Compostos a base de polipropileno (PP)

Família 2: Compostos a base de policarbonato (PC)

Família 3: Compostos a base de poliamida (PA)

Família 4: Compostos a base de ABS (ABS)

Os materiais que compõem os produtos podem ser extrudados, formando uma resina uniformemente colorida (*Factory colored product*), que é a situação que responde pela parte mais significativa do volume produzido pela planta, ou simplesmente adicionados nas proporções definidas de formulação à resina virgem (*Factory color mix*), onde neste segundo caso a resina pode receber também a denominação genérica de blenda *Salt & Pepper* ("Sal e Pimenta").

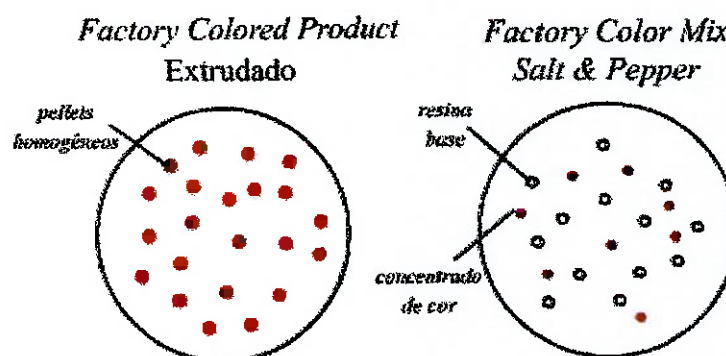


Figura 1.3 – Resina Extrudada e Salt & Pepper

Elaborado pelo autor

Os produtos também podem ser classificados conforme o tipo de estratégia de produção, de dois modos: *Make to Order (MTO)* e *Make to Stock (MTS)*. Como regra, a planta adota o sistema de *MTO* para os seus produtos: os clientes fazem o pedido junto ao setor de serviços ao cliente e após sua colocação no sistema de *ERP*⁵ ele é alocado dentro da sequência de produção. Não obstante, para alguns produtos,

⁵ *Enterprise Resource Planning* ou Sistema de Gestão Empresarial. Sistema de Informação que congrega diversos módulos ou subsistemas de modo a permitir a gestão integrada das diversas áreas e/ou processos de uma empresa. No caso em questão o sistema adotado pela companhia é o SAP.

em função de critérios como volume, padrão de demanda, importância estratégica do cliente e aplicação do produto (específica de um determinado cliente ou genérica) é adotado o sistema de *MTS*, com os objetivos de proporcionar um melhor atendimento do cliente no que diz respeito à disponibilidade e tempo de entrega do produto e auxiliar no planejamento e programação da produção.

1.3.2 Dados de Operação

A área de manufatura da planta abrange as funções que trabalham diretamente com a produção fabril: o processo produtivo, a manutenção e o sistema da Qualidade, sendo que esse último abrange outras áreas fora da produção, estendendo a todo o site.

A planta trabalha 24 horas por dia, 6 dias por semana em 3 turnos fixos, permanecendo parada apenas aos domingos.

Horário	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
00:00 02:00							
02:00 04:00							
04:00 06:00							
06:00 08:00							
08:00 10:00							
10:00 12:00							
12:00 14:00							
14:00 16:00							
16:00 18:00							
18:00 20:00							
20:00 22:00							
22:00 00:00							

	Turno 1
	Turno 2
	Turno 3

Tabela 1.1 – Turnos de produção da planta

Elaborado pelo autor

Ao todo existem 7 linhas de produção instaladas, com capacidade máxima nominal aproximada de 24.000 ton/ano. As linhas comportam-se como mini-fábricas, visto que cada uma é completamente independente das demais. Os maquinários

componentes de cada linha estão conectados por uma tubulação que liga cada etapa do processo à seguinte, desde a mistura até chegar ao ensacamento.

À exceção de uma das linhas, onde é feito somente a mistura proporcional e ensacamento de resina e concentrado de cor, produzindo a chamada resina *Salt & Pepper* nas demais seis linhas de produção os componentes constituintes da fórmula do produto são extrudados. Nestas seis linhas o elemento principal do processo são as extrusoras conectadas a cada uma delas, cujas roscas, com diâmetros e passos característicos mais a velocidade de rotação estabelecida para rodar a mistura definem o ritmo de produção, e constituem dessa forma o recurso gargalo do processo.

As propriedades e características dos materiais, como índice de fluidez da mistura (*MFI – Melting Flow Index*), cor, grau de dispersão/ homogeneização também impactam na velocidade de produção e restringem a alocação da produção em torno dos centros produtivos.

1.3.3 Processo de Produção

O processo produtivo no caso em que a mistura é extrudada consiste basicamente na composição, extrusão e granulação de resina base, carga mineral, concentrado de cor e aditivos conforme formulação definida pelo laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento.

As etapas do processo são divididas em andares sobrepostos, onde a gravidade é aproveitada no fluxo do material. São então três andares, iniciando na pesagem e mistura, indo para a extrusão e granulagem e terminando na embalagem e expedição.

A produção é feita em *batch* ou lotes. As matérias-primas e respectivas quantidades necessárias para produção de um lote de um determinado produto, segundo a sua formulação, são separadas e encaminhadas para o último pavimento, onde aguardam a vez na execução da programação das ordens de produção.

O processo é monitorado periodicamente para verificação e acompanhamento do desempenho do material. São checados parâmetros de processo e também características de desempenho. O processo de produção requer baixo nível de intervenção humana, majoritariamente em caráter de supervisão.

Após a inspeção completa pelo laboratório de Controle de Qualidade, caso o material esteja aprovado, é feita sua liberação no sistema, podendo seguir diretamente para o cliente ou ser enviado para um dos armazéns arrendados pela companhia.

No processo de produção da resina *Salt & Pepper*, conforme já explicado anteriormente, ocorre no Silo somente a mistura proporcional dos grânulos de ABS e de concentrado de cor e, em seguida, seu ensacamento. A mesma sistemática de acompanhamento e monitoramento periódico do processo descrita para a extrusão é executada neste caso.

Os processos acima descritos podem ser representados pelos seguintes fluxogramas de processo:

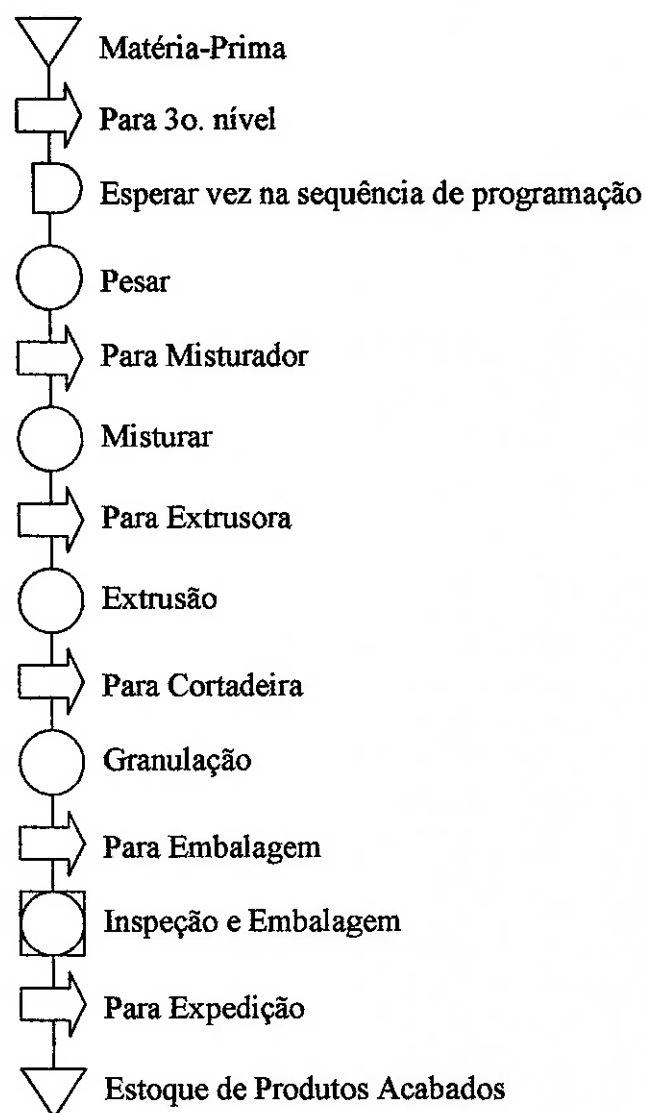


Figura 1.4 - Fluxograma da produção de extrudado

Elaborado pelo autor



Figura 1.5 - Fluxograma da produção de Salt & Pepper
Elaborado pelo autor

2. O Problema

2.1 Introdução

No presente capítulo serão apresentados os diversos fatores que ajudarão a entender o contexto em que se situa a fábrica e, direta e intrinsecamente relacionado a eles, o problema que motiva a realização deste trabalho.

Por fim, será apresentado como o mesmo será atacado, a partir da definição do objetivo deste estudo, e sua justificativa.

2.2 Definição do Problema

2.2.1 Fatores Contribuintes Externos e Internos ao Sistema Produtivo

I. Setor Automobilístico: Considerações sobre a cadeia de fornecimento

O setor automobilístico apresenta uma série de características que impõe à toda cadeia de fornecimento uma dinâmica própria, algumas das quais serão discutidas aqui.

O primeiro ponto refere-se às relações de força na cadeia de fornecimento em que, na indústria automobilística, este jogo de forças existente entre montadoras e fornecedores claramente pende para o primeiro lado. Este poder de barganha das montadoras é empurrado ao longo de toda a cadeia, e se faz sentir pelas exigências de melhoria de qualidade, pressão por fornecimento a preços menores, confiabilidade de entrega, além de outros atributos que julguem necessários para o aumento de sua rentabilidade, em detrimento da de seu fornecedor. Na determinação de seus fornecedores, preço é critério ganhador de pedido, uma vez que certificação de qualidade (ISO e QS 9000 e sistemas de auditoria das próprias montadoras), saúde ou capacidade financeira (visando diminuir o risco de descontinuidade do

fornecimento e garantir atualização tecnológica), cumprimento de padrões internacionais de custo, qualidade, quantidade e preço, flexibilidade de fornecimento (confiabilidade e prazo de entrega), entre outros elementos constituem requisitos mínimos para fornecimento (critérios qualificadores).

O segundo ponto diz respeito ao sistema de produção enxuta (que inclui sobretudo o sistema de *Just in Time* – *Kanban*, além de outros instrumentos a ele associados), que se iniciou nas empresas japonesas e se estendeu posteriormente à toda a indústria durante as décadas de 80 e 90. Ainda que não se tenha chegado ao consenso se o sistema de produção enxuta teria transformado a cadeia de fornecimento como um todo em *lean*, ou se os fornecedores estariam arcando com o ônus dos estoques, o fato é que o sistema de *Just In Time* alterou a dinâmica das relações de fornecimento, tornando mais difícil a gestão da demanda ao longo da cadeia, visto que as políticas de reposição e compras irregulares decorrentes do uso deste sistema dificultam o processo de previsão de demanda. Quanto mais afastado das montadoras, mais evidente é este fato.

Outra característica refere-se à redução no número de fornecedores que se observou ao longo da década de 90, bem como um processo de integração e hierarquização da cadeia produtiva que culminou com o surgimento dos chamados Sistemistas ou Moduleiros. É o conceito de modularidade, que modificou as relações de fornecimento na indústria automobilística. Todas as novas unidades montadoras de veículos e mesmo as mais antigas, que sofreram um processo de remodelação, passaram a utilizar-se de alguma forma deste conceito. As novas fábricas brasileiras que surgiram neste período foram pioneiras na sua aplicação.

Os diversos níveis hierárquicos da cadeia de fornecimento, conhecidos como *Tiers* 1,2,...*n*, em função da distância em relação às montadoras, passaram a ser tipicamente ocupados pelos seguintes agentes:

- 1º. Tier: formado pelos Sistemistas, integradores de primeiro nível responsáveis pela entrega de sistemas completos, módulos e/ou subconjuntos.

- 2º/3º. Tiers: produtores de peças e componentes individuais
- 4º. Tier em diante: fabricantes de peças mais simples, produzidas em grande escala, indo até os produtores de matérias – primas: aço, tintas, polímeros, etc.

Esta configuração, embora típica, não é absoluta. A própria planta em questão fornece materiais diretamente para as montadoras, atuando neste caso como *Tier 1*, como também para os fornecedores de sistemas completos, subconjuntos e peças de menor complexidade, conforme é ilustrado pelo diagrama abaixo:

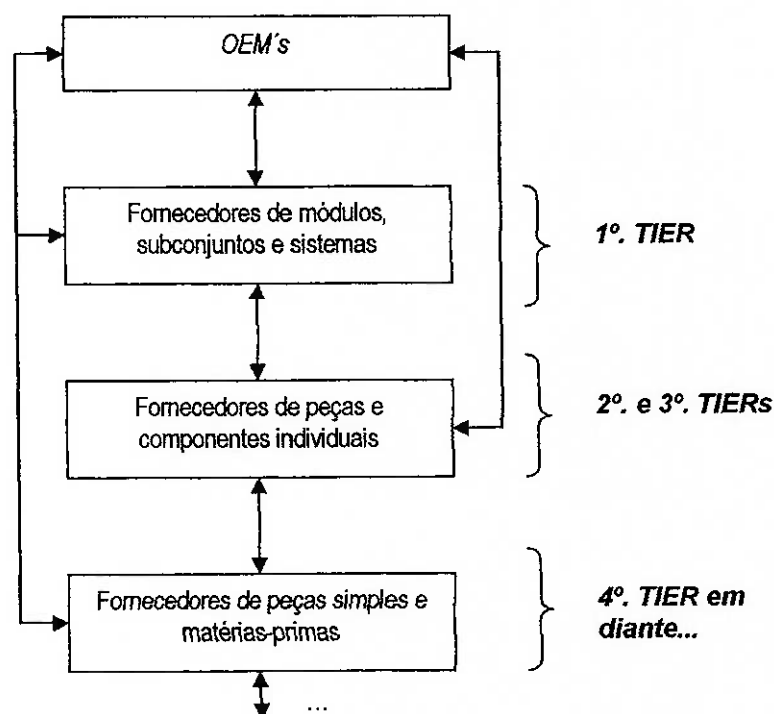


Figura 2.1 – Hierarquia de fornecimento da cadeia automotiva

Elaborado pelo autor

II. Mercado de Compostos de Engenharia

O fato de ser um produtor de polímeros especiais confere à planta uma certa margem de negociação, ainda que limitada pelo poder de barganha das montadoras, que acaba por espremer a cadeia como um todo.

Paradoxalmente, uma característica importante a ser observada no fornecimento é que a boa parte dos produtos é exclusiva de um determinado cliente, pois cada projeto de veículo de cada montadora está atrelada a especificações de fornecimento que foram previamente homologados. Este fato cria uma situação complicada caso um cliente resolva desistir do fornecimento, o que não é difícil, visto que o relacionamento entre os fornecedores de matérias-primas e clientes neste setor não são fundamentados em contratos de fornecimento.

Desta maneira, a gestão do mix de produtos torna-se extremamente complexa. Embora a planta procure produzir prioritariamente a partir das ordens colocadas, segundo reza o sistema de *MTO*, não raro ocorrem problemas de produtos acabados e matérias-primas parados em estoque, em função de alterações de volume, produto, postergação ou cancelamentos de pedido advindos de mudanças na programação das montadoras que o fazem sem prévio aviso, ou por simples cancelamento de fornecimento para um determinado cliente, que passou a comprar da concorrência. Um dos maiores *trade-offs* enfrentados pela planta, se não o maior, é prover um atendimento adequado a seus clientes sem para isso ter de se comprometer com a formação de estoques com os quais correrá o risco de morrer. E quando isso ocorre, as soluções são poucas: revender a outro cliente ou como sucata, a um preço bem inferior ao original; tentar junto ao laboratório de pesquisa e desenvolvimento estudos para juntar dois materiais inativos de modo a formar um terceiro que está em atividade, ou simplesmente incinerar o material, quando ele não pode ser aproveitado das formas anteriores (por questões de vencimento da validade ou *shelf life* do produto, ou de qualidade incorridas pelo tempo de armazenagem, como contaminação ou umidade) e está ocupando espaço e gerando custo de armazenagem.

III. Aumento da Demanda Versus Limitação de Capacidade Produtiva

Ao longo dos anos a demanda por compostos de engenharia veio apresentando um progressivo aumento, aumento este que a planta vinha conseguindo absorver por meio de acréscimo da utilização da capacidade instalada disponível e,

posteriormente, por modernização (*upgrade*) em uma de suas extrusoras, o que aumentou sua capacidade de processamento de material. Porém, ela encontra-se atualmente em um ponto no qual a operação se dá a um nível já próximo do limite da capacidade de seus recursos produtivos. Isso torna a planta vulnerável a ocorrências de eventos não planejados (ex. quebras, paradas forçadas, retrabalho, problemas com matéria-prima, etc.). No curto e médio prazo não há perspectiva de se investir em aumento da capacidade produtiva.

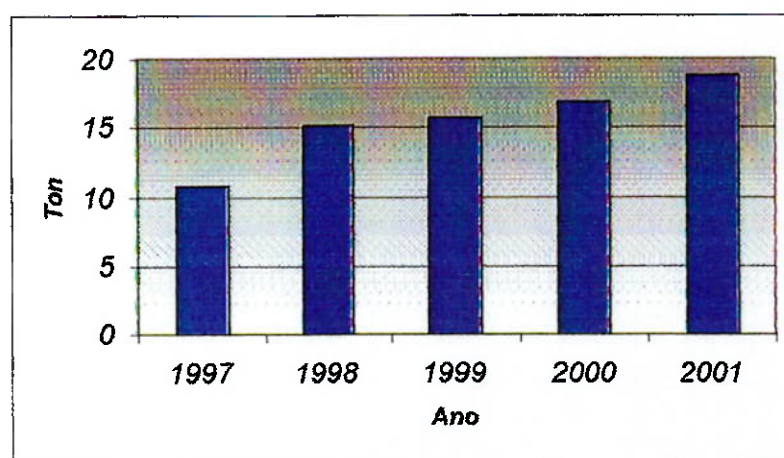


Figura 2.2 – Volume de produção da planta (1997-2001)

Elaborado pelo autor

IV. Custo das Matérias-Primas

O alto custo das matérias-primas exerce impacto considerável nas decisões, posto ser o de maior monta, pelas seguintes razões:

- Os polímeros base empregados na fabricação dos produtos são derivados de hidrocarbonetos, que são um insumo cotado no mercado internacional (*commodity*). O comportamento de aumento nos preços do barril de petróleo que vem sendo observado nos últimos tempos tem provocado igual acréscimo em seus custos de produção.
- Os produtos manufaturados, por serem compostos especiais de engenharia, requerem insumos cujos preços são consideravelmente altos. O item mais caro é o concentrado de cor, cujo preço situa-se na ordem de milhares de reais por tonelada.

V. Outros Contribuintes Internos e Externos

Além dos pontos acima levantados, contribuem para a instabilidade deste ambiente os seguintes elementos: a dependência em relação às matérias primas importadas, cujo tempo de entrega, além de alto, apresenta baixa confiabilidade; pedidos pequenos, como o de produção de amostras, que são encaixados no sequenciamento da produção e levam a uma perda de eficiência do planejamento/ programação; e o sistema de *ERP* da empresa, que embora permita a padronização dos processos de trabalho e fluxos de informação para todas as unidades da empresa ao redor do mundo, não é flexível às características peculiares de cada sistema produtivo. Adaptações às necessidades de cada unidade são feitas externamente ao sistema de informação na forma de outros subsistemas, porém há a necessidade de migração dos dados do *ERP* para a aplicação desenvolvida, quando da entrada (*inputs*), e de volta ao sistema das saídas (*outputs*). Isso acaba por consumir um tempo considerável dos planejadores/ programadores, pela pouca compatibilidade e capacidade de “conversação” entre os sistemas, tempo esse que poderia ser utilizado de forma produtiva.

2.2.2 O Problema

Prover um atendimento adequado às exigências de demanda, em contraposição à manutenção de uma estrutura de produção cujos custos sejam baixos é ao mesmo tempo um problema e um desafio que praticamente todas as indústrias enfrentam. Para a planta objeto de estudo, entretanto, em função dos elementos expostos acima, esta questão torna-se mais delicada.

Embora ela dê margem a uma ampla variedade de abordagens, é necessário restringi-la. Como fazê-lo, de forma efetiva, em âmbito interno à empresa e a um baixo custo, é a pergunta que deve ser feita.

2.3 O Processo de Planejamento Atual

Em linhas gerais o processo de planejamento atual consiste em, a partir das estimativas de demanda mensal fornecidos pelos vendedores no início do ano, revisar as projeções de demanda de cada produto feitas a partir dos dados do(s) ano(s) anterior(es); comparar capacidade produtiva mensal disponível contra a demanda (*Supply/Demand Balance*) para verificar capacidade de fornecimento; elaborar os planos e medidas adequados que o assegurem, sejam no âmbito da produção (estabelecimento de planos de contingência para os meses de pico, como uso de horas-extras, revisão da alocação de produtos em uma linha com volume saturado para outra que apresenta ociosidade maior, etc.), ou no comercial (negociação junto aos clientes dos volumes previstos de consumo, revisão de políticas de preço como forma de alterar a demanda, etc.); elaborar o plano mestre de produção e programar as compras de materiais e insumos para atendimento dos volumes estimados para cada mês. Em cada mês, os valores de demanda prevista para o(s) mês(es) seguinte(s) são revisados.

2.4 Objetivo do Trabalho

O objetivo do trabalho é, a partir do estudo das características do sistema produtivo, elaborar um modelo de planejamento da produção que melhor se adapte às suas características e aprimore o processo de planejamento atual.

O produto deste trabalho será um instrumento formal de planejamento da produção, que permita auxiliar de forma consistente a tomada de decisão do que, quanto, e quando produzir, definindo a melhor forma sobre como se dará a utilização dos recursos produtivos em um horizonte de médio prazo para que possa atender de forma satisfatória as exigências de demanda características da cadeia de fornecimento automotiva.

2.5 Justificativa do Trabalho

O planejamento da produção constitui-se numa atividade de suma importância para qualquer indústria. Ela representa e define a forma pela qual as decisões estratégicas de uma organização serão convertidas em um Plano de Produção, a partir do qual será elaborada e operacionalizada (executada) a programação da produção no ambiente fabril.

Conquanto o planejamento da produção não constitua a única frente a ser atacada para a resolução de um problema tão amplo, ele permite gerar uma alternativa de solução eficaz em âmbito interno, a um custo baixo e com impactos imediatos no desempenho do sistema produtivo, dado a relevância de sua atuação.

Isto cria uma grande oportunidade para um estudo e proposição de uma alternativa nova ou melhorada de processo de planejamento, através de um modelo que possa auxiliar na tomada de decisões mais eficientes e eficazes acerca da utilização dos recursos fabris.

Anshen⁶ et al. (1958 apud HAX; CANDEA, 1984, p.71) evidencia o importante papel que os modelos exercem no apoio às decisões gerenciais no planejamento de produção, por auxiliar os gerentes a:

1. Quantificar e usar os elementos intangíveis que estão sempre presentes no cenário de fundo de seus pensamentos, mas que estão incorporados de forma apenas vaga e esporádica nas decisões de programação.
2. Transformar em rotina a ampla consideração de todos os fatores relevantes às decisões de programação, de modo a eliminar julgamentos baseados em critérios incompletos, óbvios ou facilmente manipuláveis.
3. Encaixar cada decisão de programação em seu lugar apropriado nas séries históricas de decisão e, através de mecanismo de retroalimentação incorporado às regras de decisão, automaticamente compensar ou ajustar erros anteriores de previsão.
4. Liberá-los das atividades rotineiras de tomada de decisão, e com isso dando a eles grande liberdade e oportunidade de lidar com situações extraordinárias.

⁶ ANSHEN, M et al. "Mathematics for Production Scheduling. *Harvard Business Review*, 1958, p.51-58.

3. Revisão Bibliográfica

3.1 Introdução

A seguir serão apresentados os principais conceitos relativos à teoria de Planejamento da Produção que servirão de base para a escolha da melhor abordagem para o caso em questão.

3.2 Planejamento da Produção

As atividades de planejamento consistem, de uma forma genérica, partindo-se de uma situação presente e de posse de uma visão do futuro, em tomar decisões que permitam no futuro obter os efeitos desejados dentro do período considerado. No âmbito da Produção, cada um dos elementos acima citado compõe-se da seguinte forma:

Situação presente:

Disponibilidade de Equipamentos

Disponibilidade de Mão-de-Obra

Disponibilidade de Inventário (Matérias-Primas e Produtos-Acabados)

Visão do futuro:

Previsão de Demanda

Decisões:

O que produzir	}	Níveis de produção
Quanto produzir		

Quando produzir

Como produzir – Nível de utilização dos recursos (consideração de capacidade)

Efeitos desejados:

Atendimento dos Objetivos Estratégicos

Período considerado:

Horizonte de Planejamento

3.3 Hierarquia de Planejamento

O planejamento dentro de uma organização se desdobra em diversos níveis, indo desde o planejamento estratégico, que se encontra em uma escala hierárquica mais elevada, até a programação de atividades nos níveis de operação. Cada um destes níveis apresenta uma relação de dependência para com o nível imediatamente acima, visto que as decisões tomadas pelo último transformam-se em restrições para o primeiro, e assim sucessivamente. Ao mesmo tempo em que as decisões caminham da forma descrita, observa-se que o nível de detalhamento das informações aumenta (desagregação), e com isso considerando-se horizontes de tempo menores, adequadamente dimensionados para suportar tal nível de detalhe. Isto deriva das considerações de decisão a serem tomadas em cada nível, que requerem diferentes graus de detalhamento das informações que a subsidiarão. A figura a seguir ilustra o exposto acima:

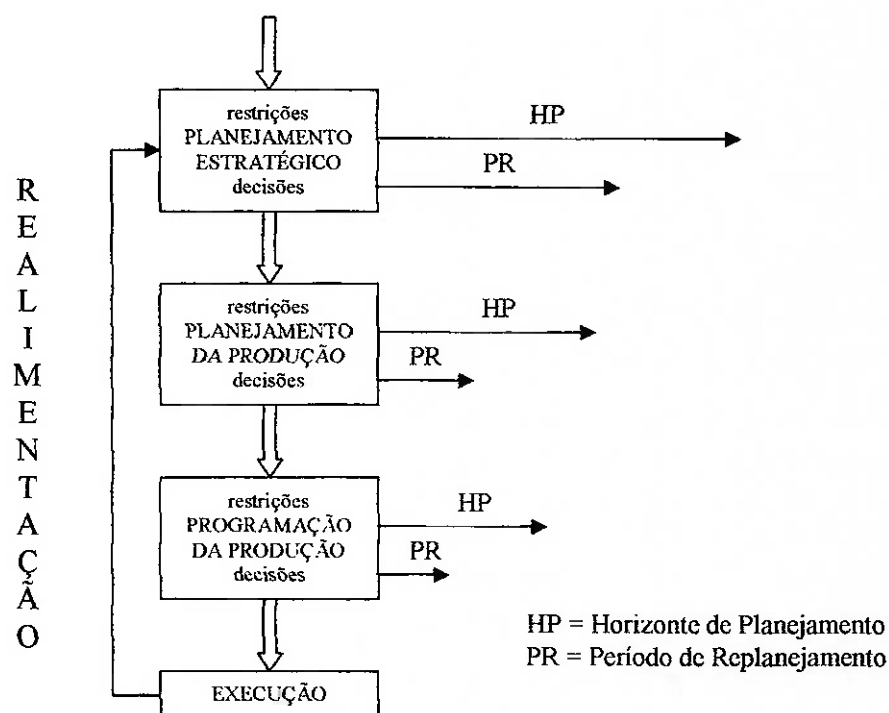


Figura 3.1 – Hierarquia de Planejamento – Exemplo com 3 Níveis

Fonte: Santoro, M. C. – Apostila PPCP Vol.1 2003

Desta forma, as decisões, em termos de gerenciamento da produção, podem ser reunidas em três grandes categorias (HAX; CANDEA, 1984):

1. Decisões estratégicas, envolvendo formulação das políticas a serem empregadas, decisões de investimento de capital e desenho das instalações físicas
2. Decisões táticas, lidando principalmente com planejamento da produção em nível agregado
3. Decisões operacionais, envolvendo questões relacionadas à programação da produção, em nível detalhado.

O planejamento da produção situa-se, portanto, em um nível médio da hierarquia de planejamento, para o qual as decisões são essencialmente táticas; desta forma, sua análise se dá sob um horizonte de médio prazo, limitado às decisões estratégicas previamente estabelecidas e cujas decisões servirão de base para a execução da programação da produção.

3.4 Tipos de Produção Versus Modelos de Planejamento

Em função do tipo de produção que caracteriza o sistema produtivo existe um modelo de planejamento que melhor se adequa às suas especificidades e características.

3.4.1 Tipos de Produção

Apesar de existirem variações na classificação, os tipos de produção podem ser enquadrados em um dos seguintes tipos:

- Estoque Puro (ex. Supermercados, Farmácias)
- Contínua

- Pura (Ex. Indústria Petroquímica e Siderúrgica)
- Com Diferenciação (Ex. Indústria Alimentícia)
- Intermitente
 - Repetitiva (Ex. Indústria de Autopeças e de Móveis)
 - Sob encomenda (Ex. Indústria de Bens de Capital)
- Projetos (Ex. Construção Civil e Naval)

Estes tipos existentes podem, em geral, serem diferenciados pelos seguintes parâmetros: número de tipos de produtos fabricados (mix de produtos), grau de diferenciação entre os mesmos, volume de produção por produto (ou nível de demanda), flexibilidade dos equipamentos, variação nos roteiros de produção, nível de estoque entre empresa e consumidor, qualificação e especialização da mão-de-obra e tipo de arranjo físico (layout).

A matriz a seguir caracteriza os diferentes tipos de produção em função dos parâmetros colocados acima:

Tabela 3.1 – Tipos de Produção

Fonte: Adaptado de Santoro, M. C., Apostila PPCP Vol.1 (2003). Miyake, D. I., Material da disciplina Projeto da Fábrica (2003) e Pessoa M.; Spinola M., Material da disciplina Automação

Tipo de Produção	PRODUTOS		DEMANDA	EQUIPAMENTOS		INSTALAÇÕES		PROCESSO	INTERMEDIÁRIOS			MÃO DE OBRA	
	Qtd	Diferenciação	Volume de Produção	Flexibilidade dos Equipamentos	Tipo de Arranjo Físico		Variação no Roteiro		Intermediários entre Empresa e Consumidor			Qualificação	Especialização
Contínua Pura	Somente um	Nenhuma	Grande	Nenhuma (Dedicado)	Linear (por produto)		Nenhuma		Muitos	Baixa	Alta		
Contínua com Diferenciação	Pouca	Pouca	Grande	Pouca			Pouca		Muitos	Baixa	Alta		
Intermitente Repetitiva	Média/Grande	Média/Grande	Média	Média	Funcional (por processo)		Pouca/Média		Poucos	Média	Baixa/Média		
Intermitente Sob Encomenda	Grande	Grande	Média/Pequena	Média/Alta (Máquinas Universais)			Média/Grande		Nenhum	Média/Alta	Baixa		
Projetos	Grande	Grande (Cada produto requer projeto específico)	Pequena	Alta (Recursos vão ao produto)	Posicional		Grande		Nenhum	Alta	Baixa		

O tipo de produção característico do sistema em estudo pode ser definido como intermitente repetitivo, embora apresente várias características de um sistema contínuo (como por exemplo volumes de produção de médios a grandes, roteiros de produção iguais em todas as linhas para todos os produtos e sequência linear de processamento do material entre as várias fases do processo, que se comunicam por meio de um sistema de tubulações), pelo fato de o processamento das ordens ocorrer em lotes ou batches, com paradas entre as execuções.

3.4.2 Modelos de Planejamento

As diferentes abordagens dos modelos de planejamento empregados nas organizações recaem em uma das seguintes classificações abaixo:

- **Modelos de Planejamento e Controle de Estoques:**

Estes modelos são subdivididos em duas grandes classes:

- **Modelos Reativos**

São modelos que não utilizam diretamente previsão de demanda no processo de decisão, sendo esta feita em função da comparação do nível dos estoques no momento em que é tomada com parâmetros do sistema produtivo como ponto de pedido ou estoque máximo. Por conseguinte, não consideram nas decisões a transformação física, mas sim os custos incorridos nas ações de compra, estoque e atendimento das vendas. Não consideram também limitação de capacidade, e trabalham item a item de forma detalhada (desagregada). Constituem os modelos de planejamento mais tradicionais.

- **Modelos Ativos (Cálculo de Necessidades – MRP)**

Utilizam a previsão de demanda no processo de tomada de decisão. Assemelham-se aos reativos no que se refere à desconsideração de limitação de capacidade bem como à abordagem detalhada dos itens, de forma desagregada. Não consideram de maneira formal os custos incorridos nas ações de compra, estoque e atendimento das vendas para decisão. Podem ser aplicados a sistemas em que ocorre transformação física dos materiais, situação em que recebem a nomenclatura de MRP (Material Requirements Planning). Esta classe de modelos, uma vez definidos as políticas e tamanhos de lote, estoques de segurança e *lead-times* de produção e compras, trabalha no sentido de eliminar os estoques e faltas.

- **Modelos de Planejamento Agregado**

Os modelos de planejamento agregado, com grande aplicação em sistemas produtivos intermitentes ou contínuos, consideram transformação física e lidam com informações a respeito dos produtos e elementos constituintes do sistema de forma agregada. Em sua formulação são considerados de forma explícita os custos associados aos atos de produzir, estocar e atender às vendas, bem como também as limitações de capacidade dos centros produtivos estudados.

- **Modelos de Planejamento em Redes**

Empregados maciçamente no planejamento de projetos, sejam eles obras, desenvolvimento de produtos ou serviços, que, em geral, são únicos e envolvem diversas atividades. Os modelos de planejamento em redes consideram transformação física e preocupam-se prioritariamente com prazos, relegando custos a um plano secundário. Podem trabalhar com atividades e processos em diferentes níveis de desagregação, conforme o nível de detalhamento desejado/ necessário. Os recursos envolvidos na execução das atividades podem ou não sofrerem limitação de capacidade.

O quadro seguinte, elaborado por Santoro, M. C. (2003), relaciona da seguinte forma as abordagens de planejamento e programação da produção que melhor se adequam aos tipos de sistemas produtivos existentes:

<i>Tipos de Produção</i>	<i>Modelos de Planejamento</i>	<i>Modelos de Programação</i>
Estoque Puro	Planejamento e Controle de Estoques	
Contínua	Planejamento Agregado	Balanceamento de Linhas
Intermitente	Planejamento Agregado	Sequenciação
Projetos	Planejamento em Redes	Programação em Redes

Tabela 3.2 – Tipos de Produção X Modelos de Planejamento e Programação da Produção

Fonte: Santoro, M. C., Apostila PPCP Vol. 1 (2003)

Sendo o sistema de produção da planta objeto de estudo do tipo intermitente sob repetição, tem-se que abordagem de planejamento mais adequada a este tipo de produção é o Planejamento Agregado da Produção.

3.5 O Planejamento Agregado da Produção

Conforme mencionado anteriormente, o planejamento da produção de forma geral e, conseqüentemente, o planejamento agregado, está preocupado com a determinação dos níveis de produção, inventário e força de trabalho para atender às exigências de flutuação da demanda, dentro de um horizonte de médio prazo.

O horizonte de tempo da atividade de planejamento é ditado pela natureza das variações dinâmicas; por exemplo, se as sazonalidades na demanda estão presentes, um ciclo sazonal completo deve ser incluído no horizonte de planejamento. Comumente o horizonte de tempo varia de 6 a 18 meses, com 12 meses sendo o conveniente ou adequado para a maioria dos sistemas de planejamento (HAX; CANDEA, 1984). Além disso, os *lead times* de produção e compras, o período fiscal ou de controle administrativo e a confiabilidade das estimativas também exercem influência sobre a determinação do horizonte de tempo mais adequado.

O significado da designação *agregado* para esta classe de modelos deriva do fato de ser freqüentemente impossível considerar todo pequeno detalhe associado ao processo de produção, ao mesmo tempo em que é mantido um horizonte de planejamento considerável, para fins de tomada de decisão. Assim, torna-se necessário agregar a informação que está sendo processada. Esta agregação pode ocorrer por consolidação de itens similares em grupos de produtos, diferentes máquinas em centros-máquina, diferentes habilidades de trabalho em centros de trabalho e consumidores individuais em regiões de mercado. O tipo de agregação a ser realizada é sugerido pela natureza do sistema de planejamento a ser usado, as características técnicas bem como as gerenciais das atividades de produção.

Da decisão do planejamento agregado sobre a forma que se dará a utilização dos recursos produtivos determinará o chamado Plano de Produção, que especificará a forma como ocorrerá essa utilização ao longo do tempo, em um horizonte de médio prazo.

3.6 Variáveis de Decisão em Planejamento Agregado

Para fazer frente às flutuações de demanda, o planejador/ gerente de produção dispõe de variáveis sobre as quais pode decidir para absorver tais variações. Em função das decisões tomadas sobre elas são incorridos custos, que podem ser tanto de natureza tangível (contábeis e econômicos) quanto intangível. A tabela a seguir relaciona as variáveis de decisão e seus custos associados:

VARIÁVEIS	CUSTOS
Estoque	Armazenagem Movimentação Capital imobilizado
Atraso (Postergação)	Mau atendimento
Não atendimento	Falta (vendas perdidas)
Admissão	Recrutamento Seleção Admissão Treinamento
Demissão	Demissão Imagem no mercado de trabalho
Horas-Extras	Horas-extras (diretos e administrativos)
Ociosidade	Sub aproveitamento da Mão-de-Obra
Subcontratação	Adicional pela produção realizada por subcontratação Controle da subcontratação
Políticas de Mercado	Propaganda Promoção (acarretando receita inferior)

Tabela 3.3 – Variáveis de decisão e custos associados

Fonte: Adaptado de Santoro, M. C., Apostila PPCP Vol.1 (2003)

Assim, as seguintes decisões podem ser tomadas em relação às variáveis acima apresentadas:

- Pode-se mudar o tamanho da força de trabalho contratando e demitindo, permitindo que ocorram mudanças na taxa de produção. O uso excessivo desta prática, contudo, pode gerar problemas trabalhistas sérios.
- Ao mesmo tempo em que mantém uma força de trabalho regular uniforme, pode-se variar a taxa de produção introduzindo horas-extras e/ou tempo ocioso, ou utilizando-se de subcontratação de terceiros.
- Ao mesmo tempo em que mantém uma taxa de produção uniforme, existe a possibilidade de se antecipar a demanda futura acumulando estoques sazonais. A decisão de escolha entre o custo incorrido na mudança na taxa de produção e a manutenção de inventários sazonais é a questão básica a ser resolvida na maioria das situações práticas.
- Pode-se também recorrer ao postergamento de pedidos de forma planejada sempre que os clientes aceitaram atrasos no cumprimento de seus pedidos.
- Se possível, uma alternativa que deve ser resolvida nos níveis hierárquicos maiores da hierarquia de planejamento é o desenvolvimento de linhas de produto complementares com padrões de demanda contrários aos produtos existentes. Esta alternativa é muito eficiente em produzir uma utilização mais uniforme dos recursos da empresa, porém não elimina a necessidade do planejamento agregado.
- Por meio de adoção de políticas de mercado apropriadas pode ser possível influenciar a demanda agregada visando moderar sua flutuação.

As decisões sobre as variáveis podem ser empregadas de forma isolada, como apresentadas acima, ou combinadas de forma a gerar inúmeros planos alternativos de produção.

3.7 Modelos de Planejamento Agregado

Os modelos desenvolvidos para Planejamento Agregado, pela metodologia de solução que incorporam, são classicamente divididos entre aqueles que são capazes de garantir uma solução matematicamente ótima e aqueles que não são:

Modelos Otimizantes:

- Modelos de custos lineares
- Modelos de custos quadráticos
- Modelos de custos fixos
- Modelos gerais de custos não-lineares

Modelos Heurísticos:

- Modelo dos Coeficientes Administrativos (Bowman)
- Modelo de Planejamento Paramétrico (Jones)
- Simuladores (Abordagem de regra de decisão de busca)

Buffa & Taubert (1972) observam que o fato de haver esta divisão entre metodologias de solução que garantam um ótimo matemático, no que diz respeito ao modelo, e aquelas que não são, não implicam no fato de que uma é necessariamente melhor que a outra. Encontrar uma solução ótima pode ou não ter valor dependendo do quão bem o modelo captura os aspectos relevantes do problema. A solução para o problema de planejamento de agregado envolve um cuidadoso equilíbrio entre o mundo real, o modelo, e a metodologia de solução: nem um modelo altamente realístico, porém infactível do ponto de vista prático-computacional, ou tampouco um modelo factível, mas de natureza extremamente simplificada e que não consiga reproduzir a realidade.

Visto que a forma como o problema se estrutura frequentemente determina o método de solução, as seguintes considerações sobre o problema devem ser feitas quando da construção do modelo:

- Linear ou não-linear
- Estático ou dinâmico
- Tempo contínuo ou discreto
- Valores contínuos ou discretos
- Determinístico ou Estocástico

Em função das características do problema em questão, a priori não há necessidade de se partir para uma abordagem heurística, visto que a modelagem matemática é perfeitamente possível, além de a primeira ser significativamente mais complexa. Assim, optar-se-á pela abordagem otimizante.

Dentre as opções de modelos otimizantes será empregada a modelagem de custo linear, por atender às principais variáveis de decisão que o gerenciamento da produção necessita, pela conveniência computacional associada à programação linear e pela facilidade de implementação, entendimento e operacionalização do sistema. Além disso, existe a possibilidade de assumir linearidade no comportamento dos custos das variáveis de decisão para o problema. Segundo Bradley, Hax, & Magnenti, (1977) os modelos de custos lineares são menos restritivos do que eles aparentam ser de primeira, pelo fato de que funções de custo não-lineares podem ser aproximadas em qualquer grau de precisão dividindo-a em segmentos lineares.

4. Dados para o Planejamento Agregado

4.1 Introdução

No presente capítulo será discutida a metodologia de coleta e tratamento dos dados referentes ao sistema produtivo que permitirão parametrizar e alimentar o modelo matemático a ser elaborado.

Dados referentes a produtos, centros de trabalho, demanda e disponibilidade de recursos, entre outros, serão consolidados em grupos ou famílias de itens. Conforme já visto no Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica, o nível de agregação das informações é função do nível de planejamento requerido. O quadro abaixo, elaborado por Santoro (2003), mostra as diferenças nos níveis de agregação das informações:

Componentes em Nível Agregado	Componentes em Nível Detalhado
Famílias de produtos	Produtos
Centros produtivos máquinas	Máquinas
Centros produtivos humanos - grupos com qualificações diferentes	Centros produtivos humanos - grupos com as mesmas qualificações diferentes
Períodos grandes	Períodos pequenos
Roteiros e tempos das famílias pelos centros	Roteiros e tempos das famílias pelas máquinas
Demanda das famílias nos períodos	Demanda dos produtos nos períodos

Tabela 4.1 – Níveis de Agregação das Informações

Santoro, M. C., Apostila PPCP Vol.1 (2003)

Por se tratarem de dados confidenciais, sendo assim necessária a preservação do sigilo destas informações de forma a não prejudicar a empresa, os dados aqui apresentados não serão os reais. Uma proporção dos mesmos será empregada para este estudo.

4.2 Produtos

A agregação dos produtos em famílias deve ser coerente com alguns critérios de semelhança, entre os quais são básicos: composição, roteiros de produção, lead times de fabricação e padrão de demanda.

O critério adotado pela empresa para definição das famílias de produtos é o de formulação química, segundo a resina polimérica que serve de base para o composto. A utilização deste tipo de critério é muito comum em indústrias do setor químico. Assim, o mix de produtos da planta foi dividido em quatro famílias de produtos segundo esse critério:

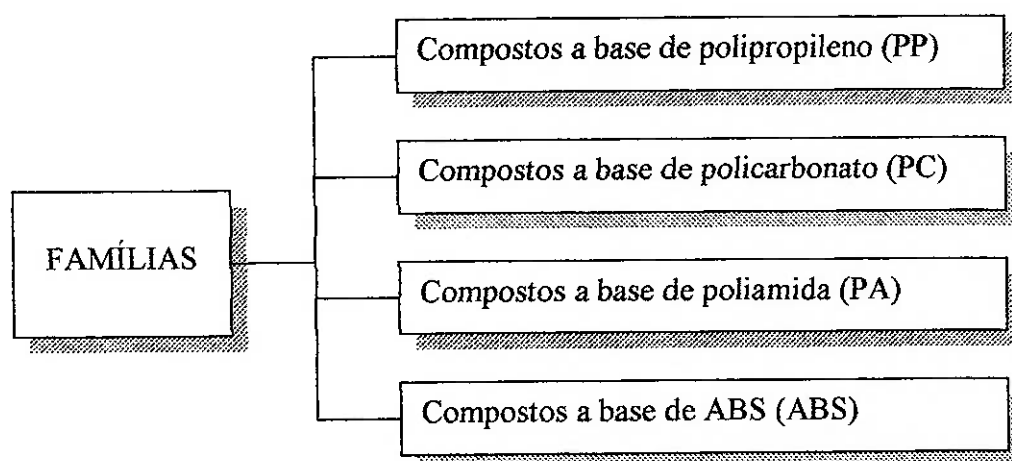


Figura 4.1 – Famílias de compostos

Elaborado pelo autor

Esta divisão de famílias, entretanto, não é a mais adequada para o planejamento, tendo em vista a melhor alocação dos produtos nas linhas e a estratégia de produção adotada, que é o que se observa na prática. A definição das famílias para o desenvolvimento deste trabalho será feita com base nestes dois critérios, melhor discutidos a seguir.

4.2.1 Famílias de Produtos para o Planejamento Agregado

Dentro do mix de produtos ativos fabricados pela planta existem alguns que são de grande valor para a estratégia do negócio e/ou para a melhoria de produtividade da planta. A estes produtos foi adotada a estratégia de produção *MTS*, em contraposição a todos os demais, que se mantiveram na estratégia padrão de *MTO*, conforme já mencionado no Capítulo 1.

São produtos que se referem a um cliente de grande importância estratégica para que se possam atingir os objetivos de mercado ou de negócio ou a clientes com consumo regular (põe pedidos com boa frequência e de maneira constante), e que desta forma exigem prioridade no atendimento (disponibilidade e tempo de entrega do produto); que apresentam grande volume de vendas, ou que são usados em aplicações não-específicas, não estando amarrado a um único cliente, de forma que a formação de estoques melhoraria o tempo de resposta da planta, auxiliaria na programação da produção, conferindo maior flexibilidade de alocação das ordens, além de promover um melhor gerenciamento e planejamento das compras de matérias-primas e inventário de produtos acabados.

Desta maneira, o primeiro critério de definição das famílias é a separação entre quais aqueles que são *MTS* e quais são *MTO*.

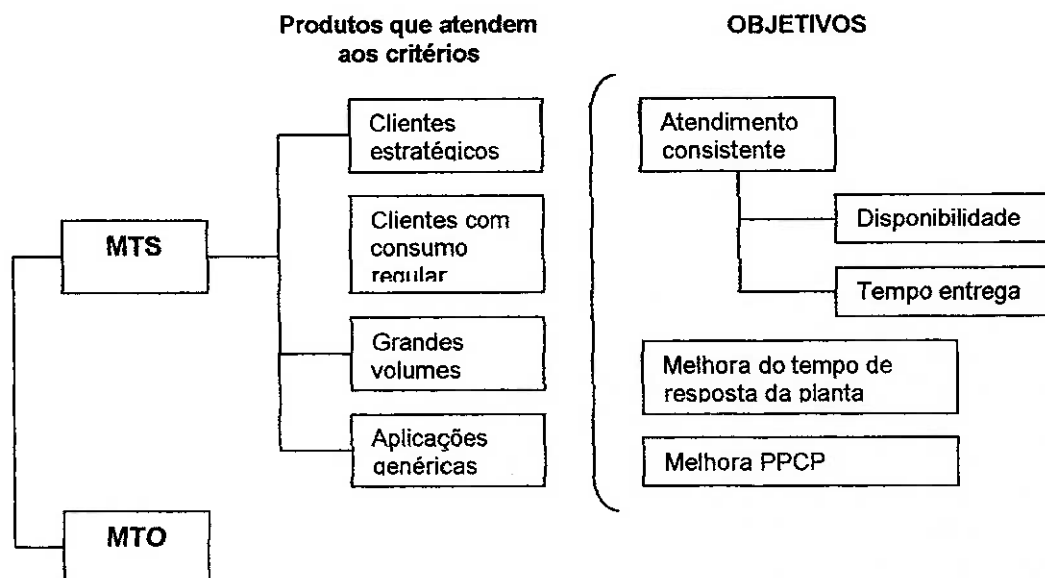


Figura 4.2 – MTS e MTO

Elaborado pelo autor

Outro fato importante a ser considerado na definição das famílias refere-se à alocação do mix de produtos em cada linha, pois, apesar de todos possuírem o mesmo roteiro de produção, ela obedece a um critério, definido por estudos realizados pelas áreas de Engenharia de Processo e de Pesquisa e Desenvolvimento da planta, de forma a otimizar o uso destes centros produtivos.

A definição do mix de produtos que cada centro poderá processar é função de 4 elementos, sendo os 3 primeiros referentes à composição do produto:

- Família de resina base
- Carga mineral
- Cor
- Tamanho do Lote

Dependendo do tipo de resina base e de carga mineral definidos na formulação do produto é necessário uma velocidade maior ou menor de rotação da rosca extrusora para se promover uma homogeneização adequada da mistura, o que exerce impacto

direto no ritmo de produção do centro. Em um centro também se deve procurar concentrar produtos de mesma tonalidade de cor (cores escuras e cores claras ou natural), ou criar uma escala de tonalidades, indo da mais clara a mais escura, como forma de se minimizar os *setups* e evitar problemas de contaminação. Por último, em função do tamanho do lote de produção definido para o produto, deve-se sempre procurar alocar os lotes maiores nas máquinas de maiores taxas de produção, enquanto os menores nas máquinas mais lentas.

Em função destes fatores é definido o melhor arranjo de mix de produtos que será trabalhado em cada centro. A produção do item é então homologada por P&D e pela Engenharia de Processos para aquele centro.

A homologação de fabricação de um mesmo produto pode ocorrer em mais de um centro, como meio de flexibilizar a produção acomodando da melhor forma possível a demanda nos centros produtivos. Assim, um produto pode ter designada uma linha primária de produção, e também outra(s) linha(s) alternativa(s) para alocação, caso seja necessário fazê-la, em casos, por exemplo, de uma das linhas estar superalocada (picos de demanda), ou pela ocorrência de paradas por manutenções preventivas, corretivas, etc. Para os *MTO* em geral não há grandes problemas nesta prática, que aliás se faz necessária para obter flexibilidade na gestão da carteira de pedidos, que são colocados ao longo do mês. Assim, eles podem ser alocados em linhas com características de processamento semelhantes. Para os *MTS* entretanto, esta prática é mais restritiva devido a problemas de qualidade do produto que podem derivar dela (embora variem de produto para produto), e que podem acarretar em reprovação do produto pela análise do controle de qualidade do cliente e conseqüente refugo do lote, que assumem caráter mais crítico para esta classe de produtos. Assim, embora ela ocorra de forma reduzida também para produtos *MTS*, procura-se evitar ao máximo a alocação de produtos desta classe em linhas alternativas. No modelo isto será considerado introduzindo-se um custo de penalidade caso seja feito uso da alocação alternativa.

Desta forma, define-se mais um critério de consolidação dos produtos em famílias, agora segundo a **possibilidade de alocação das mesmas nos centros de trabalho** (que serão definidos mais adiante):

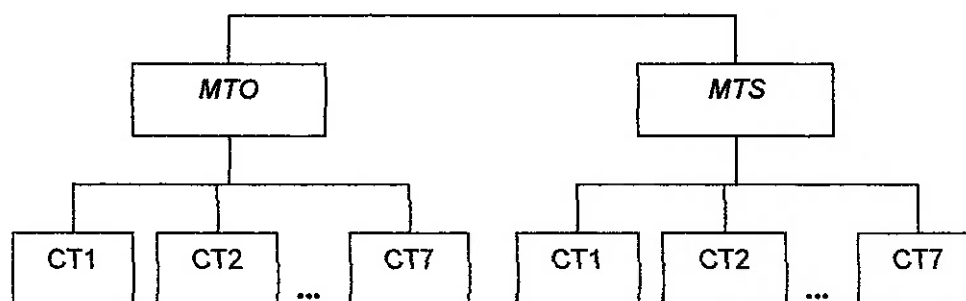


Figura 4.2 – Alocação dos MTO/MTS nos centros de trabalho CT

Elaborado pelo autor

Foram definidas assim 11 famílias de produtos a serem utilizadas no planejamento agregado, denominadas da seguinte forma:

Famílias	Descrição	Homologação	Subfamílias	Alocação
A	MTS	CT1 e CT4	A'	CT1 (Primário)
			A''	CT4 (Alternativo)
B	MTS	CT3	B	CT3
C	MTS	CT4	C	CT4
D	MTS	CT7	D	CT7
E	MTS	CT2	E	CT2
F	MTS	CT2 e CT1	F'	CT2 (Primário)
			F''	CT1 (Alternativo)
G	MTS	CT1	G	CT1
H	MTO	CT3	H	CT3
I	MTO	CT4 / CT5 / CT6	I'	CT4
			I''	CT5
			I'''	CT6
J	MTO	CT2 e CT1	J'	CT2
			J''	CT1
K	MTO	CT7	K	CT7

Tabela 4.2 – Famílias de produtos para o planejamento agregado

Elaborado pelo autor

A unidade de medida utilizada para todos os produtos é em Toneladas⁷.

⁷ Abreviada por Ton ou MT (Metric Ton)

4.3 Demanda

Definidas as famílias de produtos a serem planejadas, o passo seguinte consiste na obtenção de suas demandas agregadas para cada período do horizonte de planejamento considerado.

4.3.1 Horizonte de Planejamento

Tendo em vista os fatores dos quais depende a escolha do horizonte de planejamento apresentados no Capítulo 3, será definido um período de 6 meses para este horizonte de tempo. Embora a previsão de vendas fornecida pelos vendedores abranja o período de um ano, a confiabilidade dos dados é maior para os 6 meses iniciais, além do que a ausência de sazonalidade nas vendas dos produtos verificada junto à área de vendas, ainda que esteja presente uma tendência de crescimento, confere maior liberdade na definição do horizonte. Essa escolha se mostra conveniente tanto com relação ao processo de revisão do mix de produtos fabricados pela planta, que pelo fato de serem específicos de um cliente necessitam de uma periodicidade menor de revisão (produtos entram e saem de linha com frequência), quanto com relação ao processo de revisão da definição dos produtos que serão *MTS* e os que permanecerão *MTO*, ambos ocorrendo a cada 6 meses.

4.3.2 Obtenção dos Dados de Demanda

Para obtenção dos dados de demanda agregada das famílias, inicialmente foram extraídos do relatório de previsão de vendas disponibilizado pelos vendedores no início do ano os dados de demanda individual de cada produto ativo da fábrica, em toneladas. Estes dados são baseados nas projeções feitas para o 1º. Semestre do ano de 2004 de demanda.

Os dados então foram migrados para uma planilha de cálculo eletrônica onde foram manipulados para o formato desejado, segundo o critério de agregação das famílias de produtos definida anteriormente. Com isso obteve-se a visão agregada dos dados de previsão de demanda de cada uma das famílias para o horizonte de 6 meses.

Famílias	Previsão de Vendas (MT)					
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
A	18,2	17,5	26,6	18,9	25,2	21,0
B	138,6	141,4	175,0	156,8	171,5	190,0
C	127,9	96,0	130,5	136,8	109,6	144,3
D	57,9	31,8	44,9	47,1	59,6	59,0
E	30,0	12,7	29,1	30,3	23,6	32,5
F	23,8	22,3	42,5	21,4	9,5	23,0
G	39,6	36,1	38,6	39,6	42,2	27,8
H	59,3	38,9	41,4	51,8	65,3	53,5
I	494,4	408,6	401,1	463,1	406,2	589,7
J	444,7	415,8	527,1	474,3	384,4	537,0
K	128,3	114,0	149,2	103,4	123,3	126,7

Tabela 4.3 – Previsão de vendas das famílias em 6 meses

Elaborado pelo autor

4.4 Centros de Trabalho

Os centros de trabalho a serem considerados para o planejamento agregado são cada uma das linhas de produção disponíveis, 7 no total, sendo 6 de extrusão do composto e uma de mistura *Salt & Pepper*, e serão designados da seguinte forma:

Centro de Trabalho	Tipo	Capacidade Média (MT/HM)
CT1	Extrusão	0,90
CT2	Extrusão	0,30
CT3	Extrusão	0,35
CT4	Extrusão	0,50
CT5	Extrusão	0,40
CT6	Extrusão	0,47
CT7	Salt & Pepper	0,90

Tabela 4.4 – Centros de Trabalho

Elaborado pelo autor

É sabido que o recurso limitante do processo em cada linha são as extrusoras. A capacidade da rosca da extrusora em processar e extrudar a mistura determina o ritmo de produção de toda a linha. Assim, do exposto, embora os centros de trabalho consumam horas-máquina (*Hm*) ao longo das fases do processo de produção, será considerado a disponibilidade do recurso em horas-máquina, visto que o recurso limitante da capacidade nos centros de trabalho são equipamentos, e não humanos.

A disponibilidade nominal em *Hm* é a mesma para todas as linhas, sendo dada pelo número de horas das quais se pode dispor das mesmas em operação, ao longo do mês. Entretanto, há um fator de eficiência para cada uma, no qual são descontados tempos gastos com *setup* e paradas para manutenção. Com a operação da planta ocorrendo em 3 turnos diários de 8 horas cada (a exceção da linha de mistura *Salt & Pepper*, que se dá em 1 turno diário) durante 6 dias da semana, em uma média de 26 dias de atividade tem-se, para cada linha, as seguintes disponibilidades mensais:

Centro de Trabalho	Disp. Nominal(HM)	IEF (%)	Disp. Efetiva (HM)
CT1	624	84%	524
CT2	624	87%	435
CT3	624	87%	435
CT4	624	89%	445
CT5	624	86%	430
CT6	624	85%	425
CT7	198	88%	174

Tabela 4.5 – Disponibilidade dos Centros de Trabalho

Elaborado pelo autor

Conforme já discutido na definição das famílias de produtos, as taxas de produção também diferem entre os produtos; entretanto, para efeito de definição dos valores de consumo de cada família será tomado o valor médio destes tempos, sem grandes prejuízos, visto que eles são bastante próximos, o que decorre justamente do fato de que a alocação do produto em cada linha foi estudada e homologada pelos especialistas de P&D em conjunto com a Engenharia de Processos de forma a ter em cada linha os produtos com melhores características de processamento (produtividade, otimização de setups e contaminação).

A tabela a seguir relaciona as famílias de produtos com os centros de trabalho para os quais sua produção foi homologada, apresentando os valores de consumo nos mesmos, em *Hm*. Cabe ressaltar que os tempos obtidos para as operações são os tempos reais médios.

Famílias		Centros de Trabalho - Consumos (HM/MT)						
		CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7
A	A'	1,05						
	A''				2,15			
B	B			2,86				
C	C				2			
D	D							1,07
E	E		3,33					
F	F'		3,43					
	F''	1,18						
G	G	1,1						
H	H			3,15				
I	I'				2,19			
	I''					2,28		
	I'''						2,13	
J	J'		3,39					
	J''	1,26						
K	K							1,11

Tabela 4.6 – Consumo das famílias nos Centros de Trabalho

Elaborado pelo autor

4.5 Custos

4.5.1 Custo Unitário de Produção

O custo de produção na planta compõe-se dos seguintes elementos básicos:

- Materiais (matérias-primas e embalagens)
- Mão-de-obra direta
- Despesas regulares e essenciais inerentes à fabricação (fixas e variáveis)

Os custos relacionados a mão-de-obra direta e as despesas regulares relacionadas à operação dos ativos não serão consideradas no custo unitário de produção. Elas serão apropriadas no custo das horas (horas-máquina). Assim, os custos unitários de produção de cada família são os seguintes:

Famílias	Custo Unitário de Produção (R\$/MT)
A	2.456,3
B	2.059,5
C	2.297,2
D	2.633,8
E	2.132,1
F	1.778,9
G	1.509,7
H	1.846,7
I	2.277,8
J	1.728,3
K	1.416,7

Tabela 4.7 – Custos unitários de produção das famílias

Elaborado pelo autor

4.5.2 Custo das Horas

O custo das horas dos centros produtivos, em horas-máquina, é uma composição do custo de mão-de-obra empregada em cada centro com o rateio dos custos de operação da planta entre os mesmos, segundo a participação que cada um tem na geração destes custos (potência consumida pela linha, manutenções necessárias, etc.). Definido o custo da hora normal, determinou-se que o valor da hora-extra seria de 50% sobre este valor.

O valor da hora ociosa foi considerado o mesmo da hora normal porque a linha não é simplesmente desligada (*shut down*) caso não esteja produzindo, de modo que o custo de hora-máquina continua sendo incorrido. Não obstante, pelo alto valor investido nos equipamentos e pelo elevado custo fixo da planta, este valor pode ser aumentado, caso julgue-se necessário.

4.5.3 Custo Unitário de Estoque

O custo de armazenagem dos produtos é formado por três componentes, a saber:

- Custo de Movimentação ou *Handling*: incide sobre a movimentação dos produtos; quanto maior o giro do item, maior é esse custo.
- Custo de Inventário mantido: o custo unitário é estabelecido em R\$/MT, e pode incidir sobre o inventário médio mantido ao longo do mês ou sobre o inventário contabilizado no final do período.
- Custo de Seguro: feito sobre o valor da venda da mercadoria ou sobre seu valor de custo, sem incidência dos impostos.

Tomando como base o contrato firmado com a empresa arrendadora do armazém utilizado pela planta, têm-se os seguintes custos unitários de estoque por família:

Famílias	Custo de Estoque (R\$/MT)	Estoque Inicial (MT)
A	78,4	6,2
B	75,9	18,3
C	94,0	48,5
D	86,7	10,0
E	70,2	10,9
F	64,0	8,6
G	77,1	17,7
H	79,1	3,6
I	75,1	6,7
J	64,9	9,9
K	105,3	5,6

Tabela 4.8 – Custos unitários de estoque das famílias

Elaborado pelo autor

Nota-se que mesmo para as famílias *MTO* há estoque, conforme aponta os dados acima, extraídos do relatório de inventário do armazém.

4.5.4 Custo de Falta

Os custos de falta estão relacionados a aspectos estratégicos da empresa. Neste caso, confiabilidade de entrega é imprescindível em função do mercado em que ela atua, o que implica, que eles deverão ser dimensionados de forma que as faltas sejam minimizadas.

A determinação dos custos de falta⁸ de cada família de produtos deve levar em conta o lucro médio perdido da família, dado que a falta implica em perda de receita com a venda do produto, além da importância estratégica do cliente comprador do item para a companhia.

4.5.5 Penalidades

Conforme foi explicado no item em que se definiu as famílias de produtos, a flexibilização da alocação das famílias *MTS* nos centros alternativos deve ser evitado pelos problemas de qualidade que podem incorrer. Assim, será introduzido um custo de penalidade, caso seja imprescindível o uso desta prática:

Famílias	Penalidade Alocação Alternativa (R\$/MT)
A"	100,0
F"	100,0

Tabela 4.9 – Penalidade associada à mudança de Centro de Trabalho base

Elaborado pelo autor

⁸ Por envolverem questões altamente confidenciais como o lucro e importância estratégica do cliente, os valores de custo de falta foram determinados com auxílio dos setores comercial e financeiro, não sendo cabíveis aqui porém maiores detalhes.

5. Desenvolvimento do Modelo Matemático

5.1 Introdução

Tendo concluído as etapas de revisão teórica no âmbito do planejamento da produção, onde se determinou o modelo de planejamento mais adequado às características do sistema produtivo estudado, seguida do levantamento dos dados que o subsidiarão, dar-se-á prosseguimento à fase de desenvolvimento e implementação do modelo escolhido, apresentada aqui.

O software definido para a resolução do modelo matemático foi o *Lindo Systems' What'sBest!*. A razão da escolha deveu-se ao fato de que praticamente todas as ferramentas de trabalho utilizadas na empresa são desenvolvidas em planilhas *Microsoft Excel*, pertencente ao pacote de aplicativos *Microsoft Office* comprado por ela. E o *What'sBest!* possui justamente a vantagem, em relação aos demais softwares de otimização, de ser capaz de resolver problemas lineares, não-lineares e inteiros em ambiente de planilhas de cálculo eletrônicas, como o *Excel* e *Lotus*, utilizando-se das próprias equações das planilhas. Embora o *Microsoft Excel* apresente incorporado o suplemento *Solver*, que também permite a resolução de problemas de otimização, ele não apresenta a mesma praticidade que o *What'sBest!* no que tange à parametrização do modelo, além de menor capacidade de variáveis de decisão e equações de restrições suportadas.

5.2 Modelo Matemático de Custo Linear

Um modelo matemático de custo linear considera as variáveis de decisão pertinentes e seus custos associados (apresentados no capítulo anterior) e pode ser representado genericamente da seguinte forma, segundo didática proposta por Santoro (2001):

Função Objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Mín. Custo} = & \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (m_{it} \cdot PRD_{it} + e_{it} \cdot EST_{it} + f_{it} \cdot FAL_{it}) + \\ & + \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T (n_{ct} \cdot HNO_{ct} + o_{ct} \cdot HOC_{ct} + x_{ct} \cdot HEX_{ct} + a_{ct} \cdot ADM_{ct} + d_{ct} \cdot DEM_{ct}) \end{aligned}$$

sujeito à:

$$(EST_{it-1} - FAL_{it-1}) + PRD_{it} - PVE_{it} = (EST_{it} - FAL_{it}) \quad (i = 1 \dots I; t = 1 \dots T) \quad [1]$$

$$\sum_{i=1}^I \left(\frac{t_{ic}}{IEF_{ic}} \right) \cdot PRD_{it} = (HNO_{ct} + HEX_{ct}) \cdot IEF_c \quad (c = 1 \dots C; t = 1 \dots T) \quad [2]$$

$$\sum_{i=1}^I \left(\frac{t_{im}}{IEF_{im}} \right) \cdot PRD_{it} \leq DIS_{mt} \cdot IEF_m \quad (m = 1 \dots M; t = 1 \dots T) \quad [3]$$

$$HNO_{ct} + HOC_{ct} = DIS_{ct} \quad (c = 1 \dots C; t = 1 \dots T) \quad [4]$$

$$HEX_{ct} \leq IEX_c \cdot DIS_{ct} \quad (c = 1 \dots C; t = 1 \dots T) \quad [5]$$

$$DIS_{ct} - DIS_{ct-1} = ADM_{ct} - DEM_{ct} \quad (c = 1 \dots C; t = 1 \dots T) \quad [6]$$

$$PRD_{it}, EST_{it}, FAL_{it}, HNO_{ct}, HEX_{ct}, HOC_{ct}, ADM_{ct}, DEM_{ct}, DIS_{ct}, DIS_{mt}, PVE_{it} \geq 0$$

$$0 \leq IEF_{ic}, IEF_{im}, IEF_c, IEF_m, IEX_c \leq 1$$

Onde:

i = índice dos produtos ($i = 1 \dots I$)

c = índice de centros produtivos humanos ($c = 1 \dots C$)

m = índice de centros produtivos máquinas ($m = 1 \dots M$)

t = índice de períodos no horizonte de planejamento ($t = 1 \dots T$)

Hh = horas homem

Hm = horas máquina

PRD_{it} = nível de produção de i em t

EST_{it} = estoque previsto de i em t

FAL_{it} = falta prevista de i em t

HNO_{ct} = previsão de utilização de Hh em hora normal, em c em t

HEX_{ct} = previsão de utilização de Hh em hora extra, em c em t

HOC_{ct} = previsão de ociosidade em Hh , em c em t

ADM_{ct} = previsão de admissão de Hh , em c em t

DEM_{ct} = previsão de demissão de Hh , em c em t

DIS_{ct} = disponibilidade total de Hh , em c em t

DIS_{mt} = disponibilidade total de Hm , em m em t

m_{it} = custo unitário direto de produção (sem mão-de-obra direta)

e_{it} = custo unitário de armazenagem de i em t

f_{it} = custo de falta de uma unidade de i em t

n_{ct} = custo de Hh em hora normal, em c em t

o_{ct} = custo de Hh em hora ociosa, em c em t

x_{ct} = custo de Hh em hora extra, em c em t

a_{ct} = custo de admissão de Hh , em c em t

d_{ct} = custo de demissão de Hh , em c em t

PVE_{it} = previsão de vendas de i em t

t_{ic} = Hh padrão necessários para produzir uma unidade de i em c

t_{im} = *Hh* padrão necessários para produzir uma unidade de *i* em *m*

IEF_{ic} = eficiência da operação de *i* em *c* (em %)

IEF_{im} = eficiência da operação de *i* em *m* (em %)

$IEFc$ = eficiência na utilização da disponibilidade total de *c* (em %)

$IEFm$ = eficiência na utilização da disponibilidade total de *m* (em %)

$IEXc$ = percentual de *Hh* em hora extra aceitável, em *c* em *t* (em %)

A igualdade em [1] estabelece a típica equação de balanço do inventário de produção para o item *i*: a diferença entre a disponibilidade do item no período, dada pelo inventário do período anterior somado à produção do período, e o seu consumo, representado pelas quantidades que ficaram pendentes no período anterior mais a prevista no período, deve ser igual ao nível de inventário que restará ao final do período descontado de eventuais faltas do item no final do mesmo.

[2] estabelece que a soma dos tempos de produção necessários para se produzir, em um dado período e centro humano, quantidades de cada item possíveis para aquele centro, considerando-se sua eficiência de processo, deve ser igual às *Hh* previstas para aquele centro (normais mais horas extras) efetivas.

[3] faz a mesma consideração que [2] porém em relação à disponibilidade efetiva de *Hh* para um dado centro máquina.

[4] é uma equação de balanço de *Hh* para cada centro humano, estabelecendo que o número de *Hh* previstas para utilização em hora normal mais as que eventualmente não estiverem previstas para utilização (ociosas) deve ser igual à disponibilidade de total de *Hh* estabelecidas para aquele centro humano.

[5] impõe que o número de *Hh* previstas para serem empregadas em horas-extras no período não ultrapassem o total de *Hh* em horas-extras aceitáveis estabelecidas para dado centro humano.

Finalmente, [6] estabelece que para um dado centro humano, no caso de terem sido previstas admissões e/ou demissões no período, seu número, ou diferença entre eles, é dado pela diferença entre a disponibilidade de Hh no final do período e a disponibilidade observada no período anterior.

5.3 Adequação do Modelo às Condições do Problema

A primeira consideração de adequação do modelo apresentado acima às condições do problema diz respeito à questão das admissões e demissões.

No modelo genérico, a disponibilidade de mão-de-obra pode variar em cada período, em função das admissões e demissões. Não faz parte da política da empresa, e portanto da planta, o uso da subcontratação para absorção das flutuações de demanda. Assim, a força de trabalho será considerada fixa no horizonte de planejamento, não sendo permitidas contratações e demissões.

Desta forma, a restrição [6] é eliminada e a função objetivo é simplificada para:

$$\begin{aligned} \text{Min. Custo} = & \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (m_{it} \cdot PRD_{it} + e_{it} \cdot EST_{it} + f_{it} \cdot FAL_{it}) + \\ & + \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T (n_{ct} \cdot HNO_{ct} + o_{ct} \cdot HOC_{ct} + x_{ct} \cdot HEX_{ct}) \end{aligned}$$

As taxas de produção podem variar por meio do emprego de horas-extras aplicadas à força de trabalho regular, abrindo-se turnos aos Domingos. Entretanto, não mais do que dois Domingos por mês podem ser empregados para a abertura de turnos extras, em função do elevado desgaste que isto implica nos funcionários.

Conforme explicado no Capítulo 4, a disponibilidade dos recursos será dado em Hm , com o custo de Hh incorporado ao primeiro, visto que a limitação de capacidade ocorre em termos de máquinas, e não de centros-humanos.

Para que o modelo considere as possibilidades de alocação de uma mesma família em mais de um centro produtivo, as famílias para as quais isto se aplicava foram quebradas em subfamílias referindo-se a um único centro. Para que o modelo compreenda que os níveis de produção, estoque (que no caso dos *MTO* é evidentemente zero ao final de cada período) e faltas geradas por cada uma das subfamílias no período se refere a uma só família, em resposta à demanda agregada fornecida desta, basta somar estas variáveis na composição da equação [1] de equilíbrio de inventário, conforme abaixo:

$$EST_{it-1} + \sum_{s=1}^S PRD_{st} - PVE_{it} = (EST_{it} - FAL_{it}) \quad (i = 1...I; s = 1...S; t = 1...T) \quad [1]$$

Onde i é uma família para a qual há tal possibilidade e s representa cada subfamília alocada em um centro alternativo.

Não obstante, para o caso dos *MTS*, pelas razões já apresentadas, o modelo incluirá um custo de penalidade, caso seja necessário fazer uso desta medida, que será incorporado à função objetivo:

$$\begin{aligned} \text{Min. Custo} = & \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (m_{it} \cdot PRD_{it} + e_{it} \cdot EST_{it} + f_{it} \cdot FAL_{it}) + \\ & + \sum_{c=1}^C \sum_{t=1}^T (n_{ct} \cdot HNO_{ct} + o_{ct} \cdot HOC_{ct} + x_{ct} \cdot HEX_{ct}) + \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T \sum_{r=2}^R (r_{it} \cdot PRD_{itr}) \end{aligned}$$

Onde o índice r indica cada alternativa de alocação de linha para uma família *MTS* i , com $r=1$ sendo a linha primária, e na função objetivo r_{it} representa o custo unitário no período da penalidade, por produto.

5.4 Implementação do Modelo em Software

A partir das informações levantadas foi realizada a implementação do modelo em planilha Microsoft Excel, segundo a interface ou *layout* apresentada a seguir. Os dados de entrada e a função objetivo de mínimo custo de produção a ser minimizado são disponibilizados da seguinte maneira:

Famílias	Centros de Trabalho - Consumos							Custos unitários				Est Inicial	Previsão de Vendas					
	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	ml	el	fl	pl	EST10	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
A'	1,05							2.456,3	78,4	6.839,5	0,0	6,2	18,2	17,5	26,6	18,9	25,2	21,0
A''				2,15				2.456,3	75,9	6.839,5	100,0							
B			2,86					2.059,5	94,0	9.995,9	0,0	18,3	138,6	141,4	175,0	156,8	171,5	190,0
C				2,00				2.297,2	86,7	7.078,4	0,0	48,5	127,9	96,0	130,5	136,8	109,6	144,3
D							1,07	2.633,8	70,2	4.658,6	0,0	10,0	57,9	31,8	44,9	47,1	59,6	59,0
E		3,33						2.132,1	64,0	7.217,4	0,0	10,9	30,0	12,7	29,1	30,3	23,6	32,5
F'		3,43						1.778,9	77,1	7.741,1	0,0	8,6	23,8	22,3	42,5	21,4	9,5	23,0
F''	1,18							1.778,9	79,1	7.741,1	100,0							
G	1,10							1.509,7	75,1	6.842,1	0,0	17,7	39,6	36,1	38,6	39,6	42,2	27,8
H			3,15					1.846,7	64,9	3.026,6	0,0	3,6	59,3	38,9	41,4	51,8	65,3	53,5
I'				2,19				2.277,8	105,3	6.414,3	0,0	6,7	494,4	408,6	401,1	463,1	406,2	589,7
I''					2,28			2.277,8	103,2	6.414,3	0,0	0,0						
I'''						2,13		2.277,8	101,7	6.414,3	0,0	0,0						
J'		3,39						1.728,3	44,0	5.298,8	0,0	9,9	444,7	415,8	527,1	474,3	384,4	537,0
J''	1,26							1.728,3	47,5	5.298,8	0,0	0,0						
K							1,11	1.416,7	44,2	3.973,1	0,0	5,6	128,3	114,0	149,2	103,4	123,3	126,7

Centro de Trabalho	Custo das Horas			IEX (%)	DIS (HM)	IEF (%)
	Normal	Ociosa	Extra			
CT1	158,01	158,01	158,01	8%	624	84%
CT2	110,42	110,42	110,42	8%	624	87%
CT3	126,92	126,92	126,92	8%	624	87%
CT4	133,33	133,33	133,33	8%	624	89%
CT5	127,98	127,98	127,98	8%	624	86%
CT6	123,99	123,99	123,99	8%	624	85%
CT7	94,69	94,69	94,69	8%	198	88%

	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	
Custo 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Custo de Produção
Custo 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Custo de Estoque
Custo 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Custo de Falta
Custo 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Custo de Hora Normal
Custo 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Custo de Hora Ociosa
Custo 7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Custo de Hora Extra
Custo 8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Penalidade Mudança de CT Base
Soma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Soma período
				Mín: 0,00			Custo Total de Produção

Figura 5.1 – Disposição na planilha dos dados para o planejamento e Função Objetivo

Elaborado pelo autor

A tela acima mostra a função objetivo, que se encontra decomposta em 8 expressões de custo visualizados por período (mês a mês) a serem minimizadas:

- Custo de Produção
- Custo de Estoque
- Custo de Falta
- Custo de Hora Normal
- Custo de Hora Ociosa
- Custo de Hora Extra
- Penalidade de Mudança de CT Base

A função objetivo de mínimo custo é portanto o somatório das parcelas acima.

As variáveis de decisão que irão compor o plano de produção, contendo os níveis de produção, estoques, e faltas das famílias, bem como emprego das disponibilidades dos centros, estão pintadas em azul, representando as células variáveis identificadas para o *What'sBest!*, e são dispostas da seguinte forma:

Famílias	Estoque Inicial	t=1				t=...				t=6			
		PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL
A'	6,23	0,0	18,20	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	26,60	0,0	0,0
A''		0,0								0,0			
B	18,32	0,0	138,60	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	175,00	0,0	0,0
C	48,47	0,0	127,90	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	130,50	0,0	0,0
D	9,97	0,0	57,90	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	44,93	0,0	0,0
E	10,93	0,0	29,95	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	29,13	0,0	0,0
F'	8,55	0,0	23,75	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	42,50	0,0	0,0
F''		0,0								0,0			
G	17,73	0,0	39,60	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	38,63	0,0	0,0
H	3,62	0,0	59,25	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	41,40	0,0	0,0
I'	6,68	0,0	494,40	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	401,08	0,0	0,0
I''		0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
I'''		0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
J'	9,87	0,0	444,70	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	527,05	0,0	0,0
J''		0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
K	5,60	0,0	128,25	0,0	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,0	149,18	0,0	0,0

Centro de Trabalho	Disponibilidade			t=1			t=...			t=6		
	HNO	HEX	HNO+HEX	HNO	HOC	HEX	HNO	HOC	HEX	HNO	HOC	HEX
CT1	524	42	566	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CT2	543	43	586	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CT3	543	43	586	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CT4	555	44	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CT5	537	43	580	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CT6	530	42	573	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CT7	174	14	188	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5.2 – Disposição na planilha das variáveis de decisão do planejamento

Elaborado pelo autor

Finalmente, na parte mais inferior são dispostas as equações de restrições para o problema. O intuito é fornecer ao usuário da ferramenta um ambiente de trabalho simples e prático, podendo ser facilmente visualizado, alimentado, entendido e operacionalizado, porém funcional. O layout em Microsoft Excel é apresentado a seguir:

The screenshot displays the Microsoft Excel interface with the file 'Modelo_PlanAgreg.xls'. The spreadsheet is organized into several key sections:

- Parâmetros (Row 1):** A header row for the parameter section.
- Centros de Trabalho - Consumos (Rows 3-4):** A table with columns for families (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K) and consumption centers (CT1 to CT7).
- Custos unitários (Rows 5-20):** A detailed table listing unit costs for various families (A through K) across different consumption centers and time periods (t=1 to t=6).
- Est. Inicial (Row 21):** A section for initial estimates.
- Previsão de Vendas (Rows 22-23):** A section for sales forecasts.
- What'sBest 7.0 (Row 24):** An optimization tool window showing constraints and objective functions.
- Centro de Trabalho (Rows 25-27):** A summary table for each work center, including normal, overtime, and extra hours, as well as costs (HNO, HOC, HEX).

The bottom status bar shows 'Pronto' and 'MM'.

Figura 5.3 – Layout da tela de planejamento no Excel

Elaborado pelo autor

6. Resultados e Análises

6.1 Resultados

Os resultados obtidos com a simulação do modelo fornecem o plano de produção, que aponta os níveis de produção, estoques, e faltas em cada uma das famílias, assim como o nível de utilização de cada centro produtivo ao longo dos 6 períodos considerados para o planejamento, de forma a minimizar o custo total de produção.

What'sBest! 7.0 Status
Report

Solver memory allocated: 16384

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

1.0000000 9995.9128

The smallest coefficient occurred in constraint cell: Modelo!B35
on optimizable cell: Modelo!B35

The largest coefficient occurred in constraint cell: Modelo!B37
on optimizable cell: Modelo!F52

CLASSIFICATION STATISTICS	Current /	Maximum
Numeric	2370 /	10000
Adjustable	390 /	2000
Constraints	480 /	1000
Integers	0 /	200
Optimizable	1459	
Nonlinear	0 /	200
Coefficients	2911	

Tries: 321 Infeasibility: 0.397904E-12 Objective: 20955330.

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

Solution Time: 0 Hours 0 Minutes 1 Seconds

End of report.

Conforme o relatório pós-simulação acima emitido pelo *What'sBest!* demonstra, o Status da solução obtida foi Globalmente Otimizado. Os resultados da simulação são mostrados a seguir:

Famílias	Estoque Inicial	t=1				t=2				t=3			
		PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL
A'	6,23	12,0	18,20	0,0	0,0	17,5	17,50	0,0	0,0	26,6	26,60	0,0	0,0
A''		0,0				0,0				0,0			
B	18,32	143,7	138,60	23,5	0,0	162,2	141,40	44,2	0,0	159,4	175,00	28,6	0,0
C	48,47	79,4	127,90	0,0	0,0	96,0	95,98	0,0	0,0	130,5	130,50	0,0	0,0
D	9,97	48,6	57,90	0,7	0,0	57,7	31,75	26,6	0,0	21,1	44,93	2,8	0,0
E	10,93	19,0	29,95	0,0	0,0	41,8	12,65	29,1	0,0	0,0	29,13	0,0	0,0
F'	8,55	15,2	23,75	0,0	0,0	64,8	22,28	42,5	0,0	0,0	42,50	0,0	0,0
F''		0,0				0,0				0,0			
G	17,73	21,9	39,60	0,0	0,0	43,9	36,14	7,8	0,0	30,8	38,63	0,0	0,0
H	3,62	55,6	59,25	0,0	0,0	38,9	38,90	0,0	0,0	41,4	41,40	0,0	0,0
I'	6,68	3,3	494,40	0,0	0,0	0,0	408,63	0,0	0,0	0,0	401,08	0,0	0,0
I''		235,4		0,0	0,0	159,6		0,0	0,0	152,1		0,0	0,0
I'''		249,0		0,0	0,0	249,0		0,0	0,0	249,0		0,0	0,0
J'	9,87	47,9	444,70	0,0	0,0	53,6	415,83	0,0	0,0	160,1	527,05	0,0	0,0
J''		386,9		0,0	0,0	362,3		0,0	0,0	366,9		0,0	0,0
K	5,60	122,7	128,25	0,0	0,0	114,0	113,95	0,0	0,0	149,2	149,18	0,0	0,0

Tabela 6.1 – Saídas da simulação: níveis de produção, estoques e faltas (1)

Elaborado pelo autor

Famílias	t=4				t=5				t=6			
	PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL
A'	18,9	18,90	0,0	0,0	25,2	25,20	0,0	0,0	21,0	21,00	0,0	0,0
A''	0,0				0,0				0,0			
B	148,0	156,80	19,8	0,0	151,7	171,50	0,0	0,0	190,0	190,00	0,0	0,0
C	136,8	136,80	0,0	0,0	109,6	109,60	0,0	0,0	144,3	144,30	0,0	0,0
D	68,6	47,05	24,4	0,0	47,9	59,63	12,7	0,0	44,4	59,00	0,0	1,9
E	30,3	30,28	0,0	0,0	56,1	23,60	32,5	0,0	0,0	32,50	0,0	0,0
F'	21,4	21,43	0,0	0,0	32,5	9,50	23,0	0,0	0,0	23,00	0,0	0,0
F''	0,0				0,0				0,0			
G	39,6	39,62	0,0	0,0	45,2	42,23	3,0	0,0	24,8	27,76	0,0	0,0
H	51,8	51,80	0,0	0,0	48,4	65,30	0,0	16,9	13,6	53,50	0,0	39,9
I'	0,0	463,13	0,0	0,0	0,0	406,15	0,0	0,0	105,3	589,70	0,0	0,0
I''	214,1		0,0	0,0	157,1		0,0	0,0	235,4		0,0	0,0
I'''	249,0		0,0	0,0	249,0		0,0	0,0	249,0		0,0	0,0
J'	108,6	474,30	0,0	0,0	72,2	384,43	0,0	0,0	160,1	537,00	0,0	0,0
J''	365,7		0,0	0,0	312,3		0,0	0,0	376,9		0,0	0,0
K	103,4	103,38	0,0	0,0	123,3	123,33	0,0	0,0	126,7	126,70	0,0	0,0

Tabela 6.2 – Saídas da simulação: níveis de produção, estoques e faltas (2)

Elaborado pelo autor

Centro de Trabalho	Disponibilidade			t=1			t=2			t=3		
	HNO	HEX	HNO+HEX	HNO	HOC	HEX	HNO	HOC	HEX	HNO	HOC	HEX
CT1	524	42	566	524	0	0	523	1	0	524	0	0
CT2	543	43	586	278	265	0	543	0	0	543	0	0
CT3	543	43	586	543	0	43	543	0	43	543	0	43
CT4	555	44	600	166	389	0	192	363	0	261	294	0
CT5	537	43	580	537	0	0	364	173	0	347	190	0
CT6	530	42	573	530	0	0	530	0	0	530	0	0
CT7	174	14	188	174	0	14	174	0	14	174	0	14

Tabela 6.3 – Saídas da simulação: níveis utilização dos recursos (1)

Elaborado pelo autor

Centro de Trabalho	Disponibilidade			t=4			t=5			t=6		
	HNO	HEX	HNO+HEX	HNO	HOC	HEX	HNO	HOC	HEX	HNO	HOC	HEX
CT1	524	42	566	524	0	0	470	55	0	524	0	0
CT2	543	43	586	543	0	0	543	0	0	543	0	0
CT3	543	43	586	543	0	43	543	0	43	543	0	43
CT4	555	44	600	274	282	0	219	336	0	519	36	0
CT5	537	43	580	488	48	0	358	178	0	537	0	0
CT6	530	42	573	530	0	0	530	0	0	530	0	0
CT7	174	14	188	174	0	14	174	0	14	174	0	14

Tabela 6.4 – Saídas da simulação: níveis utilização dos recursos (2)

Elaborado pelo autor

6.2 Análise dos Resultados

A análise dos resultados obtidos consiste em avaliar se os níveis de produção, estoques e faltas assim como os níveis de utilização dos centros de trabalho propostos pelo modelo são adequados e estão alinhados com a estratégia de manufatura adotada pela planta.

Cada uma das proposições dos itens mencionados acima incorre nos seguintes custos associados, explodidos na função objetivo:

	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	Custo de
Custo 1	2.875.518,74	2.902.603,47	2.907.854,29	3.125.365,36	2.851.632,52	3.404.787,08	Produção
Custo 2	2.254,59	11.751,50	2.887,70	3.570,07	4.967,62	0,00	Estoque
Custo 3	0,00	0,00	0,00	0,00	51.247,09	129.448,23	Falta
Custo 5	355.504,06	365.940,55	373.104,59	392.857,75	360.398,62	431.843,49	Hora Normal
Custo 6	81.154,48	70.717,98	63.553,94	43.800,78	76.259,92	4.815,04	Hora Ociosa
Custo 7	10.248,45	10.248,45	10.248,45	10.248,45	10.248,45	10.248,45	Hora Extra
Custo 8							Penalidade
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Mudança de CT
Soma	3.324.680,32	3.361.261,94	3.357.648,97	3.575.842,41	3.354.754,21	3.981.142,29	Base Soma período
					Min:	20.955.330,14	Total de Produção

Tabela 6.5 – Função Objetivo: Custos para o plano de produção elaborado

Elaborado pelo autor

Nos próximos itens será feita uma análise detalhada do plano de produção proposto pelo modelo. Serão examinados de forma separada os níveis de produção, estoque, atrasos e utilização dos centros de trabalho no período de planejamento adotado.

6.2.1 Níveis de Produção e Faltas

Famílias	t=1		t=2		t=3		t=4		t=5		t=6	
	PRD	FAL	PRD	FAL	PRD	FAL	PRD	FAL	PRD	FAL	PRD	FAL
A'	12,0	0,0	17,5	0,0	26,6	0,0	18,9	0,0	25,2	0,0	21,0	0,0
A''	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
B	143,7	0,0	162,2	0,0	159,4	0,0	148,0	0,0	151,7	0,0	190,0	0,0
C	79,4	0,0	96,0	0,0	130,5	0,0	136,8	0,0	109,6	0,0	144,3	0,0
D	48,6	0,0	57,7	0,0	21,1	0,0	68,6	0,0	47,9	0,0	44,4	1,9
E	19,0	0,0	41,8	0,0	0,0	0,0	30,3	0,0	56,1	0,0	0,0	0,0
F'	15,2	0,0	64,8	0,0	0,0	0,0	21,4	0,0	32,5	0,0	0,0	0,0
F''	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
G	21,9	0,0	43,9	0,0	30,8	0,0	39,6	0,0	45,2	0,0	24,8	0,0
H	55,6	0,0	38,9	0,0	41,4	0,0	51,8	0,0	48,4	16,9	13,6	39,9
I'	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	105,3	0,0
I''	235,4	0,0	159,6	0,0	152,1	0,0	214,1	0,0	157,1	0,0	235,4	0,0
I'''	249,0	0,0	249,0	0,0	249,0	0,0	249,0	0,0	249,0	0,0	249,0	0,0
J'	47,9	0,0	53,6	0,0	160,1	0,0	108,6	0,0	72,2	0,0	160,1	0,0
J''	386,9	0,0	362,3	0,0	366,9	0,0	365,7	0,0	312,3	0,0	376,9	0,0
K	122,7	0,0	114,0	0,0	149,2	0,0	103,4	0,0	123,3	0,0	126,7	0,0

Tabela 6.6 – Níveis de produção e faltas nas famílias

Elaborado pelo autor

É possível observar pelo comparativo entre os níveis de produção e faltas, ao longo dos 6 meses, a demanda prevista para as famílias é, em sua grande maioria, satisfatoriamente atendida.

As famílias A e F tiveram sua demanda plenamente atendida utilizando-se somente de seu centro primário, sem necessidade assim de alocação de parte da demanda no alternativo, o que incorreria em custo associados à possibilidade de ocorrência de problemas de qualidade advindos do uso desta contingência. Em uma posterior análise onde será simulada variação na demanda esta situação será forçada.

A ocorrência de faltas foi verificada em duas famílias, D e H. A falta em D ocorre pela aparentemente baixa disponibilidade de recurso do centro CT7. Isto se deve ao fato de a demanda por compostos *Salt & Pepper* ser consideravelmente baixa em relação à demanda por extrudados, levando-se à convenção de consideração inicial de 1 turno de trabalho diário para efeito de planejamento, visto ser na maioria das vezes suficiente para atendê-la. Assim, este problema de falta é facilmente contornável com a ação de

abertura de mais um turno de trabalho diário nele, visto que não se trata de um problema de limitação de capacidade.

Já no caso da família H, há um problema de limitação de capacidade do centro CT3, cuja disponibilidade é compartilhada entre ela e a família B. A demanda das duas famílias juntas no mês está em torno dos 200 MT, o que já é muito próximo da capacidade efetiva do centro, em torno de 205 MT; nos últimos 2 períodos, quando a demanda foi a picos próximos a 240 MT, mesmo com a formação de estoques de B nos primeiros 4 períodos não foi o suficiente para compensar o desequilíbrio entre capacidade e demanda. Naturalmente, sendo B um *MTS* com maior importância, explicitado por seu maior custo de falta, o atendimento de H é prejudicado.

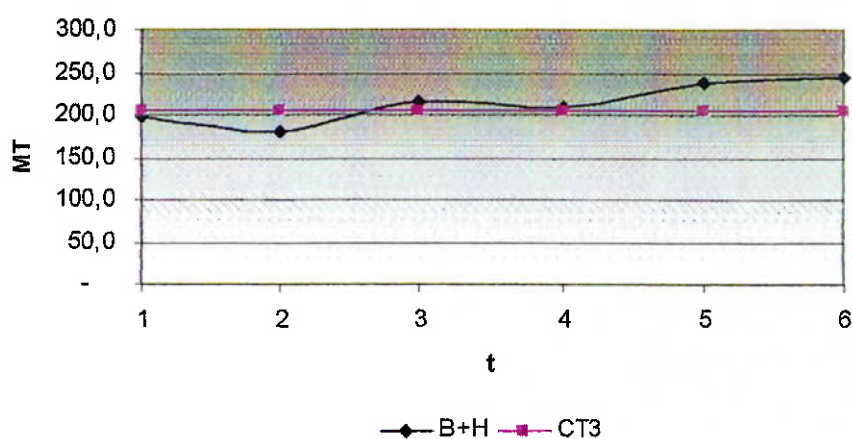


Figura 6.1 – Capacidade CT3 versus demanda agregada B+H

Elaborado pelo autor

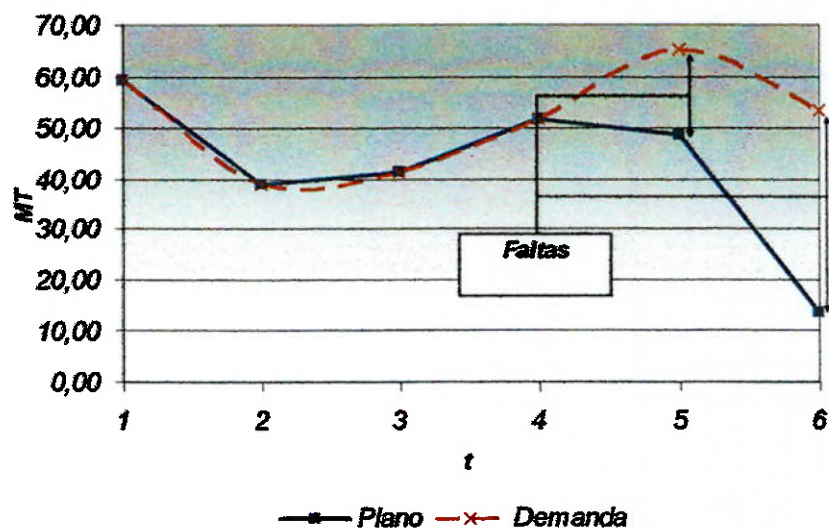


Figura 6.2 – Plano Versus Demanda para a Família H
Elaborado pelo autor

6.2.2 Níveis de Estoque

Famílias	Estoque					
	t=1	t=2	t=3	t=4	T=5	t=6
A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B	23,5	44,2	28,6	19,8	0,0	0,0
C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
D	0,7	26,6	2,8	24,4	12,7	0,0
E	0,0	29,1	0,0	0,0	32,5	0,0
F	0,0	42,5	0,0	0,0	23,0	0,0
G	0,0	7,8	0,0	0,0	3,0	0,0

Tabela 6.7 – Níveis de estoque nas famílias

Elaborado pelo autor

A formação de estoques no caso da família B apresentado no item anterior ilustra a importante papel que os itens *MTS* exercem na antecipação de produção como meio de flexibilizar a produção, minimizando não só as faltas do próprio item como também as de outros itens que compartilham os mesmos recursos, o que não ocorreria se a estratégia fosse inteiramente *MTO*.

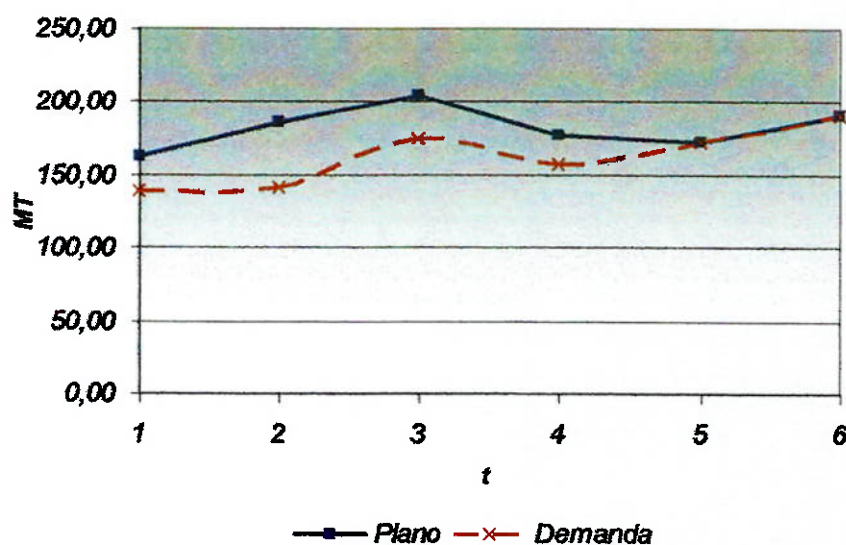


Figura 6.3 – Plano Versus Demanda para a Família B com formação de estoques em $t=1,2,3,4$

Elaborado pelo autor

Essa função é potencializada e otimizada pelo uso do modelo, na medida em que ele é capaz de analisar as capacidades dos centros nos próximos períodos contra a demanda projetada e dimensionar os estoques a um menor custo possível.

Além dos custos de falta que, por serem propositalmente elevados, induzem o modelo a propor antecipações na produção como forma de minimizar as faltas, os custos de ociosidade dos centros também podem ser dimensionados de modo a favorecer a formação de estoques.

6.2.3 Uso dos Centros de Trabalho

Centro	Disp.	Hora Normal					
		t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
CT1	524	524	523	524	524	470	524
CT2	543	278	543	543	543	543	543
CT3	543	543	543	543	543	543	543
CT4	555	166	192	261	274	219	519
CT5	537	537	364	347	488	358	537
CT6	530	530	530	530	530	530	530
CT7	174	174	174	174	174	174	174
Total	3407	2752	2869	2922	3076	2838	3370

Tabela 6.8 – Consumo das horas normais nos centros

Elaborado pelo autor

Centro	Disp.	Hora Extra					
		t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
CT1	42	0	0	0	0	0	0
CT2	43	0	0	0	0	0	0
CT3	43	43	43	43	43	43	43
CT4	44	0	0	0	0	0	0
CT5	43	0	0	0	0	0	0
CT6	42	0	0	0	0	0	0
CT7	14	14	14	14	14	14	14
Total	273	57	57	57	57	57	57

Tabela 6.9 – Consumo das horas extras nos centros

Elaborado pelo autor

Centro	Ociosidade					
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
CT1	0	1	0	0	55	0
CT2	265	0	0	0	0	0
CT3	0	0	0	0	0	0
CT4	389	363	294	282	336	36
CT5	0	173	190	48	178	0
CT6	0	0	0	0	0	0
CT7	0	0	0	0	0	0
Total	654	537	484	331	569	36

Tabela 6.10 – Ociosidade nos centros

Elaborado pelo autor

A partir dos dados de consumos de horas normais, ociosas e extras propostas para o nível de produção propostos é possível observar que em 4 dos 7 centros o nível de

utilização se dá praticamente no limite da capacidade dos centros, sendo que em 2 deles viu-se necessária a abertura de turnos extras aos domingos.

Sendo a capacidade nominal da planta em torno de 24.000 MT/ano, o que efetivamente corresponderia a aproximadamente 21.000 MT/ano, percebe-se que estas projeções de demanda, que para estes 6 meses respondem por 9.000 MT, requerem que a planta trabalhe efetivamente próximo do limite da capacidade de seus recursos.

A subutilização do centro CT4 justifica-se pelo fato dele estar sendo empregado quase que exclusivamente para a produção da família C, dado que a produção da I está sendo alocada nos centros CT5 e CT6, que são exclusivos dela e a produção alternativa de A em CT4 não precisou ser utilizada.

6.3 Análise com Aumento de Demanda

Para análise da influência da variação da demanda sobre o modelo, foi simulado uma situação de aumento de 10% em relação à previsão original. Neste caso, já foi aberto mais um turno para o centro CT7. É importante ressaltar que a demanda original já era bastante elevada, razão pela qual a utilização da maioria dos centros se dava próxima ou igual à disponibilidade em hora normal.

Para esta situação torna-se necessária a abertura de turnos aos domingos para o centro CT1, já a partir do 2º período e se estendendo até o final. Neste cenário, o modelo avaliou ser mais interessante alocar toda a produção de A no centro alternativo CT4 para não comprometer a produção das demais famílias que dependiam do CT1. Esta medida permitiu, em termos de falta, a manutenção do primeiro cenário avaliado, com faltas ocorrendo apenas para a família H pelos mesmos motivos já citados. A tabela com as faltas das famílias para este cenário é apresentado a seguir:

Famílias	Atrasos					
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
A'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A''						
B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F''						
G	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
H	27,5	60,6	58,9	27,5	60,6	58,9
I'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
I''	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
I'''	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
J'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
J''	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 6.11 – Faltas para o cenário de incremento de 10% na demanda original

Elaborado pelo autor

A ociosidade global cai como consequência disso, puxada pelo aumento do uso do CT4:

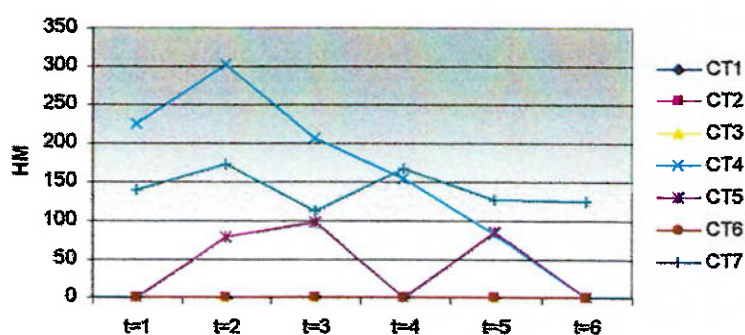


Figura 6.4 Ociosidade nos centros

Elaborado pelo autor

Centro	Ociosidade					
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
CT1	0	0	0	0	0	0
CT2	0	0	0	0	0	0
CT3	0	0	0	0	0	0
CT4	226	303	205	155	83	0
CT5	0	80	98	0	86	0
CT6	0	0	0	0	0	0
CT7	141	172	113	167	128	124
Total	366	554	417	322	297	124

Tabela 6.10 – Ociosidade nos centros

Elaborado pelo autor

6.5 Comentários

O modelo demonstrou um comportamento consistente nas simulações feitas. Para as famílias cuja estratégia de produção é *MTS*, procurou fazer uso desta prerrogativa para antecipar, sempre que a disponibilidade dos centros permitia, a produção destas famílias de forma tanto a minimizar a possibilidade de ocorrência de faltas dos produtos, em função da elevada penalização associada, como a permitir a abertura de disponibilidade para a produção das famílias nos centros com a quais compartilha seu uso, de modo a minimizar as faltas destes também. Assim, a estratégia *MTS* adotada teve sua função empregada no modelo, conferindo maior flexibilidade para balancear o uso dos recursos e conseqüentemente melhorar a resposta e atendimento.

Para as famílias *MTO* o modelo procurou, na medida do possível, fazer com que a produção delas siga fiel à curva de demanda, decidindo a melhor alocação de cada uma em torno dos centros produtivos que estão à sua disposição, isto é, para as quais foram homologadas, de forma a minimizar o atraso global e, conseqüentemente os custos de produção.

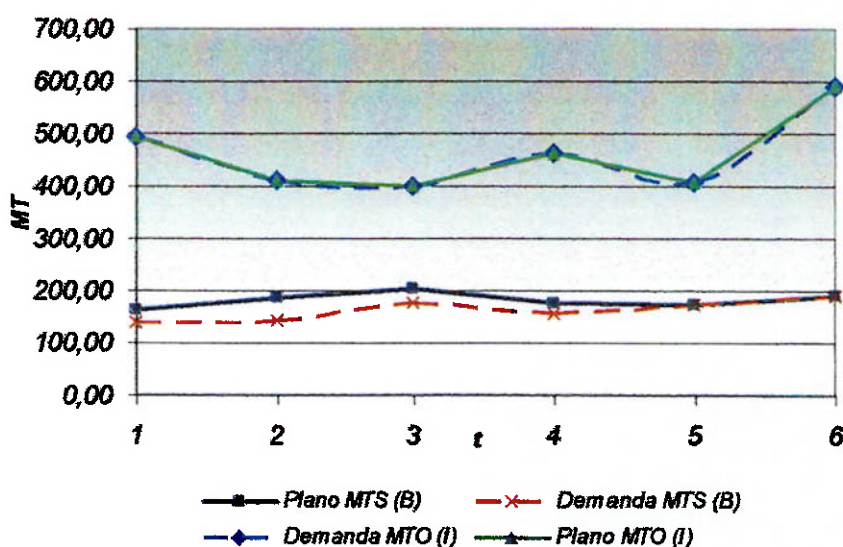


Figura 6.5 – Plano Versus Demanda seguindo a lógica das estratégias de produção

Elaborado pelo autor

As simulações também evidenciaram o problema de restrição de produção que ocorre no centro CT3, usado exclusivamente para produção das famílias B e H, além do CT1, que é homologado para 4 famílias.

7. Conclusões

7.1 Conclusões Finais

Conforme a análise dos resultados atestou, o modelo desenvolvido provou ser uma ferramenta eficaz na resolução do problema, além do que sua utilização também é útil na simulação de diversos cenários que podem ser gerados, por exemplo, pela variação na demanda ou alteração das disponibilidades dos centros de trabalho por quaisquer motivos.

A redução dos custos de produção é um elemento que aqui assume especial relevância, por estar diretamente associado ao preço que, como foi visto, é critério ganhador de pedidos na indústria automobilística, setor em que atua a planta.

Embora pareça redundante, é válido salientar dois pontos sobre relacionados ao modelo:

- O modelo constitui uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão. Isto significa que o modelo não decide, ele apenas dá as saídas em função de como ele foi parametrizado. O peso da decisão ainda recai sobre a gerência da produção e planejamento, que deve estabelecer os parâmetros de forma a alinhar o planejamento da produção aos objetivos estratégicos estabelecidos, refletindo no modelo. O modelo é flexível à revisão e alteração em função das circunstâncias que venham a alterar políticas e/ ou objetivos, e em função do caráter dinâmico do mercado e da indústria deve ser permanentemente validado.
- A qualidade das saídas e, portanto, da eficácia do modelo, dependem exclusivamente da qualidade das informações que o alimentam. Por mais sofisticado que seja o modelo, ele falhará se a confiabilidade dos dados de previsão de demanda for baixa. E esta é uma questão ainda delicada no setor automotivo, visto que a colocação de pedidos apresenta um caráter irregular e que verifica-se que os dados disponibilizados pela área comercial no início do ano apresentam flutuações da ordem de 15%, conforme é feita seu refinamento ao longo dos meses. Faz-se necessário assim um trabalho mais

abalizados de projeção de vendas para que o PPCP possa efetuar um planejamento consistente, evitando tanto a formação de estoques desnecessários quando a demanda é superdimensionada quanto a situação inversa, em que em função dos lead times altos de reposição de estoques de matérias-primas importadas, desabastecimentos e conseqüentemente faltas vêm a ocorrer.

Problemas apontados pelas saídas

Os resultados gerados corroboram com o real problema de saturação de capacidade produtiva vivenciado pela planta, notadamente em relação aos centros CT1 e CT3, sendo que o primeiro já havia passado recentemente por um processo de modernização ou *upgrade*, aumentando sua capacidade. Uma possível solução para contornar esse problema seria o processo de homologação de alguns de seus produtos para outros centros de trabalho de forma a balancear a utilização das linhas, desafogando os primeiros. Esta medida já vem sendo pleiteada pela área de PCP e está em processo de estudo. A solução definitiva obviamente seria a ampliação da capacidade produtiva por meio de *upgrade* das linhas ou instalação de uma nova, o que não é cogitado a curto prazo.

Operacionalização

Sob o aspecto prático é possível afirmar que a ferramenta desenvolvida é fácil de ser entendida e operacionalizada, visto que ela foi desenvolvida em um ambiente de uso corrente na companhia, que é de planilhas de cálculo eletrônicas Microsoft Excel, cuja interface além de ser amplamente conhecida é bastante amigável. Além disso, as informações sobre os parâmetros estão dispostas de forma clara e simples.

A atualização dos dados do modelo ocorre também de maneira fácil, consistindo na migração de dados do sistema SAP da empresa através de relatórios padrão do próprio sistema para a planilha de Excel, e/ ou pela utilização da ferramenta de Business Intelligence de que a empresa dispõe, através da qual é possível montar relatórios com as informações específicas necessárias e no formato desejado para alimentar o modelo,

extraídas diretamente do SAP. Isto permite uma atualização freqüente da ferramenta, em periodicidade mensal.

Próximo passo

Por último, o próximo passo seria a interligação entre o plano de produção agregado gerado e o sistema de *MRP* dentro do *SAP*, a partir da implantação de um sistema *MPS* (*Master Production Schedule*). O *MPS*, em linhas gerais, serve para desagregar o plano de produção agregado, de forma a fornecer as necessidades de cada item da família para o sistema *MRP*, que se incumbe da requisição de materiais de acordo com as demandas individuais fornecidas. Da forma como vem sendo feito, o *MRP* é alimentado com uma projeção de demanda constante ao longo dos meses, com correções freqüentes pelo planejador da planta, o que é uma tarefa extremamente penosa e consumidora de tempo.

8. Bibliografia

HAX, Arnaldo C.; CANDEA, Dan. Production and Inventory Management. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1984.

BUFFA, E. S.; TAUBERT, W. H.. Production – Inventory Systems: Planning and Control. Illinois: Richard D. Irwin Inc., 1972.

SANTORO, Miguel Cezar. Planejamento, Programação e Controle da Produção. Apostila da disciplina de PPCP da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2003.

MIYAKE, Dario Ikuo. Material da disciplina de Projeto da Fábrica da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2003.

PESSÔA, Marcelo S. P.; Spinola, Mauro. Material da disciplina de Automação da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2003.

SLACK, Nigel et al. Administração da Produção. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1997.

CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G. N.; CAON, Mauro. Planejamento, Programação e Controle da Produção. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

SALERNO, Mario S. et al. A Nova Configuração da Cadeia Automotiva Brasileira - Resenha desenvolvida junto ao BNDES. [Monografia On-Line]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Produção e Fundação Vanzolini, Nov. 2002. [Acessado em set. 2004] Disponível em <<http://www.poli.usp.br/pro/cadeia-automotiva/>>

9. Anexos

Programação do Modelo

Famílias	Centros de Trabalho - Consumos							Custos unitários				Est Inicial	Previsão de Vendas					
	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	mi	ei	fi	pi	EST0	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
A'	1,05							2,456	78	6,840	0	6	18,2	17,5	26,6	18,9	25,2	21,0
A''				2,15				2,456	76	6,840	100							
B			2,86					2,059	94	9,996	0	18	138,6	141,4	175,0	156,8	171,5	190,0
C				2,00				2,297	87	7,078	0	48	127,9	96,0	130,5	136,8	109,6	144,3
D							1,07	2,634	70	4,659	0	10	57,9	31,8	44,9	47,1	59,6	59,0
E		3,33						2,132	64	7,217	0	11	30,0	12,7	29,1	30,3	23,6	32,5
F'		3,43						1,779	77	7,741	0	9	23,8	22,3	42,5	21,4	9,5	23,0
F''	1,18							1,779	79	7,741	100							
G	1,10							1,510	75	6,842	0	18	39,6	36,1	38,6	39,6	42,2	27,8
H			3,15					1,847	65	3,027	0	4	59,3	38,9	41,4	51,8	65,3	53,5
I'				2,19				2,278	105	6,414	0	7	494,4	408,6	401,1	463,1	406,2	589,7
I''					2,28			2,278	103	6,414	0	0						
I'''						2,13		2,278	102	6,414	0	0						
J'		3,39						1,728	44	5,299	0	10	444,7	415,8	527,1	474,3	384,4	537,0
J''	1,26							1,728	48	5,299	0	0						
K							1,11	1,417	44	3,973	0	6	128,3	114,0	149,2	103,4	123,3	126,7

Centro de Trabalho	Custo das Horas			IEX (%)	DIS (HM)	IEF (%)
	Normal	Ociosa	Extra			
CT1	158,01	158,01	237,01	8%	624	84%
CT2	110,42	110,42	165,63	8%	624	87%
CT3	126,92	126,92	190,39	8%	624	87%
CT4	133,33	133,33	199,99	8%	624	89%
CT5	127,98	127,98	191,96	8%	624	86%
CT6	123,99	123,99	185,99	8%	624	85%
CT7	94,69	94,69	142,04	8%	198	88%

32 A B C D E F G H

33 Função
Objetivo

	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	
Custo 1	=SOMARPRODUTO(\$15;\$20;C50;C65)	=SOMARPRODUTO(\$15;\$20;G50;G65)	=SOMARPRODUTO(\$15 5;\$20;K50;K65)	=SOMARPRODUTO(\$15;\$ \$20;O50;O65)	=SOMARPRODUTO(\$15;\$1 \$20;S50;S65)	=SOMARPRODUTO(\$15 5;\$20;W50;W65)	Custo de Produção
Custo 2	=SOMARPRODUTO(\$15;\$20;E50;E65)	=SOMARPRODUTO(\$15;\$20;I50;I65)	=SOMARPRODUTO(\$15 5;\$20;M50;M65)	=SOMARPRODUTO(\$15;\$ \$20;Q50;Q65)	=SOMARPRODUTO(\$15;\$ \$20;U50;U65)	=SOMARPRODUTO(\$15 5;\$20;Y50;Y65)	Custo de Estoque
Custo 3	=SOMARPRODUTO(\$K\$5;\$K\$20;F50;F65)	=SOMARPRODUTO(\$K\$5;\$K\$20;J50;J65)	=SOMARPRODUTO(\$K \$5;\$K\$20;N50;N65)	=SOMARPRODUTO(\$K\$5; \$K\$20;R50;R65)	=SOMARPRODUTO(\$K\$5; \$K\$20;V50;V65)	=SOMARPRODUTO(\$K \$5;\$K\$20;Z50;Z65)	Custo de Falta
Custo 5	=SOMARPRODUTO(\$B\$25;\$B\$31;E68;E7 5)	=SOMARPRODUTO(\$B\$25;\$B\$31;H69;H7 5)	=SOMARPRODUTO(\$B \$25;\$B\$31;K69;K75)	=SOMARPRODUTO(\$B\$25 ;\$B\$31;N69;N75)	=SOMARPRODUTO(\$B\$25 ;\$B\$31;Q69;Q75)	=SOMARPRODUTO(\$B \$25;\$B\$31;T69;T75)	Custo de Hora Normal
Custo 6	=SOMARPRODUTO(\$C\$25;\$C\$31;F69;F7 5)	=SOMARPRODUTO(\$C\$25;\$C\$31;I69;I75)	=SOMARPRODUTO(\$C \$25;\$C\$31;L69;L75)	=SOMARPRODUTO(\$C\$25 ;\$C\$31;O69;O75)	=SOMARPRODUTO(\$C\$25 ;\$C\$31;R69;R75)	=SOMARPRODUTO(\$C \$25;\$C\$31;U69;U75)	Custo de Hora Odiosa
Custo 7	=SOMARPRODUTO(\$D\$25;\$D\$31;G69;G 75)	=SOMARPRODUTO(\$D\$25;\$D\$31;J69;J7 5)	=SOMARPRODUTO(\$D \$25;\$D\$31;M69;M75)	=SOMARPRODUTO(\$D\$25 ;\$D\$31;P69;P75)	=SOMARPRODUTO(\$D\$25 ;\$D\$31;S69;S75)	=SOMARPRODUTO(\$D \$25;\$D\$31;V69;V75)	Custo de Hora Extra
Custo 8	=SOMARPRODUTO(\$L\$5;\$L\$20;G50;G65)	=SOMARPRODUTO(\$L\$ \$5;\$L\$20;K50;K65)	=SOMARPRODUTO(\$L\$ 5;\$L\$20;O50;O65)	=SOMARPRODUTO(\$L\$5;\$ \$L\$20;Q50;Q65)	=SOMARPRODUTO(\$L\$5;\$ \$L\$20;S50;S65)	=SOMARPRODUTO(\$L\$5 5;\$L\$20;W50;W65)	Penalidade Mudança de CT Base
Soma	=SOMA(B35:B41)	=SOMA(C35:C41)	=SOMA(D35:D41)	=SOMA(E35:E41)	=SOMA(F35:F41)	=SOMA(G35:G41)	Soma período
					Min:	=SOMA(B42:G42)	Custo Total da Produção

44

45	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
46	Solução																									

46 Solução

47

Famílias	Estoque Inicial	t=1			t=2			t=3			t=4			t=5			t=6							
		PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL	PRD	DEM	EST	FAL			
48																								
49																								
50	A'	0	=N5	0	0	0	=O5	0	0	0	=P5	0	0	0	=Q5	0	0	0	=R5	0	0	=S5	0	0
51	A''	0				0				0					0				0					
52	B	0	=N7	0	0	0	=O7	0	0	0	=P7	0	0	0	=Q7	0	0	0	=R7	0	0	=S7	0	0
53	C	0	=N8	0	0	0	=O8	0	0	0	=P8	0	0	0	=Q8	0	0	0	=R8	0	0	=S8	0	0
54	D	0	=N9	0	0	0	=O9	0	0	0	=P9	0	0	0	=Q9	0	0	0	=R9	0	0	=S9	0	0
55	E	0	=N10	0	0	0	=O10	0	0	0	=P10	0	0	0	=Q10	0	0	0	=R10	0	0	=S10	0	0
56	F'	0	=N11	0	0	0	=O11	0	0	0	=P11	0	0	0	=Q11	0	0	0	=R11	0	0	=S11	0	0
57	F''	0				0				0					0				0					
58	G	0	=N13	0	0	0	=O13	0	0	0	=P13	0	0	0	=Q13	0	0	0	=R13	0	0	=S13	0	0
59	H	0	=N14	0	0	0	=O14	0	0	0	=P14	0	0	0	=Q14	0	0	0	=R14	0	0	=S14	0	0
60	I'	0	=N15	0	0	0	=O15	0	0	0	=P15	0	0	0	=Q15	0	0	0	=R15	0	0	=S15	0	0
61	I''	0				0				0					0				0					
62	I'''	0				0				0					0				0					
63	J'	0	=N18	0	0	0	=O18	0	0	0	=P18	0	0	0	=Q18	0	0	0	=R18	0	0	=S18	0	0
64	J''	0				0				0					0				0					
65	K	0	=N20	0	0	0	=O20	0	0	0	=P20	0	0	0	=Q20	0	0	0	=R20	0	0	=S20	0	0

CC

[illegible]

Restrições t=1

[1]

A	=B50+B51)+(C50+C51)-D50	=WB(B80,"=",D80)	=E50-F50
B	=B52+C52-D52	=WB(B81,"=",D81)	=E52-F52
C	=B53+C53-D53	=WB(B82,"=",D82)	=E53-F53
D	=B54+C54-D54	=WB(B83,"=",D83)	=E54-F54
E	=B55+C55-D55	=WB(B84,"=",D84)	=E55-F55
F	=(B56+B57)+(C56+C57)-D56	=WB(B85,"=",D85)	=E56-F56
G	=B58+C58-D58	=WB(B86,"=",D86)	=E58-F58
H	=B59+C59-D59	=WB(B87,"=",D87)	=F59
I	=(B60+B61+B62)+(C60+C61+C62)-D60	=WB(B88,"=",D88)	=(F60+F61+F62)
J	=(B63+B64)+(C63+C64)-D63	=WB(B89,"=",D89)	=(F63+F64)
K	=B65+C65-D65	=WB(B90,"=",D90)	=F65

[3]

CT1	=SOMARPRODUTO(\$C\$50:\$C\$65;B5:B20)	=WB(B93,"=",D93)	=E69+G69
CT2	=SOMARPRODUTO(\$C\$50:\$C\$65;C5:C20)	=WB(B94,"=",D94)	=E70+G70
CT3	=SOMARPRODUTO(\$C\$50:\$C\$65;D5:D20)	=WB(B95,"=",D95)	=E71+G71
CT4	=SOMARPRODUTO(\$C\$50:\$C\$65;E5:E20)	=WB(B96,"=",D96)	=E72+G72
CT5	=SOMARPRODUTO(\$C\$50:\$C\$65;F5:F20)	=WB(B97,"=",D97)	=E73+G73
CT6	=SOMARPRODUTO(\$C\$50:\$C\$65;G5:G20)	=WB(B98,"=",D98)	=E74+G74
CT7	=SOMARPRODUTO(\$C\$50:\$C\$65;H5:H20)	=WB(B99,"=",D99)	=E75+G75

[4]

CT1	=E69+F69	=WB(B102,"=",D102)	=B69
CT2	=E70+F70	=WB(B103,"=",D103)	=B70
CT3	=E71+F71	=WB(B104,"=",D104)	=B71
CT4	=E72+F72	=WB(B105,"=",D105)	=B72
CT5	=E73+F73	=WB(B106,"=",D106)	=B73
CT6	=E74+F74	=WB(B107,"=",D107)	=B74
CT7	=E75+F75	=WB(B108,"=",D108)	=B75

[5]

CT1	=G69	=WB(B111,"<=",D111)	=C69
CT2	=G70	=WB(B112,"<=",D112)	=C70
CT3	=G71	=WB(B113,"<=",D113)	=C71
CT4	=G72	=WB(B114,"<=",D114)	=C72
CT5	=G73	=WB(B115,"<=",D115)	=C73
CT6	=G74	=WB(B116,"<=",D116)	=C74
CT7	=G75	=WB(B117,"<=",D117)	=C75

[7]

PRD

A'	=C50	=WB(B121,">=",D121)	0
A"	=C51	=WB(B122,">=",D122)	0
B	=C52	=WB(B123,">=",D123)	0
C	=C53	=WB(B124,">=",D124)	0
D	=C54	=WB(B125,">=",D125)	0
E	=C55	=WB(B126,">=",D126)	0
F'	=C56	=WB(B127,">=",D127)	0
F"	=C57	=WB(B128,">=",D128)	0

G	=C58	=WB(B129,">=";D129) 0
H	=C59	=WB(B130,">=";D130) 0
I'	=C60	=WB(B131,">=";D131) 0
I"	=C61	=WB(B132,">=";D132) 0
I'''	=C62	=WB(B133,">=";D133) 0
J'	=C63	=WB(B134,">=";D134) 0
J''	=C64	=WB(B135,">=";D135) 0
K	=C65	=WB(B136,">=";D136) 0

EST

A'	=E50	=WB(B139,">=";D139) 0
A''	=E51	=WB(B140,">=";D140) 0
B	=E52	=WB(B141,">=";D141) 0
C	=E53	=WB(B142,">=";D142) 0
D	=E54	=WB(B143,">=";D143) 0
E	=E55	=WB(B144,">=";D144) 0
F'	=E56	=WB(B145,">=";D145) 0
F''	=E57	=WB(B146,">=";D146) 0
G	=E58	=WB(B147,">=";D147) 0
H	=E59	=WB(B148,">=";D148) 0
I'	=E60	=WB(B149,">=";D149) 0
I''	=E61	=WB(B150,">=";D150) 0
I'''	=E62	=WB(B151,">=";D151) 0
J'	=E63	=WB(B152,">=";D152) 0
J''	=E64	=WB(B153,">=";D153) 0
K	=E65	=WB(B154,">=";D154) 0

FAL

A'	=F50	=WB(B157,">=";D157) 0
A''	=F51	=WB(B158,">=";D158) 0
B	=F52	=WB(B159,">=";D159) 0
C	=F53	=WB(B160,">=";D160) 0
D	=F54	=WB(B161,">=";D161) 0
E	=F55	=WB(B162,">=";D162) 0
F'	=F56	=WB(B163,">=";D163) 0
F''	=F57	=WB(B164,">=";D164) 0
G	=F58	=WB(B165,">=";D165) 0
H	=F59	=WB(B166,">=";D166) 0
I'	=F60	=WB(B167,">=";D167) 0
I''	=F61	=WB(B168,">=";D168) 0
I'''	=F62	=WB(B169,">=";D169) 0
J'	=F63	=WB(B170,">=";D170) 0
J''	=F64	=WB(B171,">=";D171) 0
K	=F65	=WB(B172,">=";D172) 0

Restrições t=2

[1]

A	= (E50+E51)+(G50+G51)-H50	=WB(E80,"=",G80)	=I50-J50
B	=E52+G52-H52	=WB(E81,"=",G81)	=I52-J52
C	=E53+G53-H53	=WB(E82,"=",G82)	=I53-J53
D	=E54+G54-H54	=WB(E83,"=",G83)	=I54-J54
E	=E55+G55-H55	=WB(E84,"=",G84)	=I55-J55
F	= (E56+E57)+(G56+G57)-H56	=WB(E85,"=",G85)	=I56-J56
G	=E58+G58-H58	=WB(E86,"=",G86)	=I58-J58
H	=G59-H59	=WB(E87,"=",G87)	=-J59
I	= (G60+G61+G62)-H60	=WB(E88,"=",G88)	=-(J60+J61+J62)
J	= (G63+G64)-H63	=WB(E89,"=",G89)	=-(J63+J64)
K	=G65-H65	=WB(E90,"=",G90)	=-J65

[3]

CT1	=SOMARPRODUTO(\$G\$50:\$G\$65;B5:B20)	=WB(E93,"=",G93)	=H69+J69
CT2	=SOMARPRODUTO(\$G\$50:\$G\$65;C5:C20)	=WB(E94,"=",G94)	=H70+J70
CT3	=SOMARPRODUTO(\$G\$50:\$G\$65;D5:D20)	=WB(E95,"=",G95)	=H71+J71
CT4	=SOMARPRODUTO(\$G\$50:\$G\$65;E5:E20)	=WB(E96,"=",G96)	=H72+J72
CT5	=SOMARPRODUTO(\$G\$50:\$G\$65;F5:F20)	=WB(E97,"=",G97)	=H73+J73
CT6	=SOMARPRODUTO(\$G\$50:\$G\$65;G5:G20)	=WB(E98,"=",G98)	=H74+J74
CT7	=SOMARPRODUTO(\$G\$50:\$G\$65;H5:H20)	=WB(E99,"=",G99)	=H75+J75

[4]

CT1	=H69+H69	=WB(E102,"=",G102)	=B69
CT2	=H70+H70	=WB(E103,"=",G103)	=B70
CT3	=H71+H71	=WB(E104,"=",G104)	=B71
CT4	=H72+H72	=WB(E105,"=",G105)	=B72
CT5	=H73+H73	=WB(E106,"=",G106)	=B73
CT6	=H74+H74	=WB(E107,"=",G107)	=B74
CT7	=H75+H75	=WB(E108,"=",G108)	=B75

[5]

CT1	=J69	=WB(E111,"<=",G111)	=C69
CT2	=J70	=WB(E112,"<=",G112)	=C70
CT3	=J71	=WB(E113,"<=",G113)	=C71
CT4	=J72	=WB(E114,"<=",G114)	=C72
CT5	=J73	=WB(E115,"<=",G115)	=C73
CT6	=J74	=WB(E116,"<=",G116)	=C74
CT7	=J75	=WB(E117,"<=",G117)	=C75

[7]

PRD

A'	=G50	=WB(E121,">=",G121)	0
A"	=G51	=WB(E122,">=",G122)	0
B	=G52	=WB(E123,">=",G123)	0
C	=G53	=WB(E124,">=",G124)	0
D	=G54	=WB(E125,">=",G125)	0
E	=G55	=WB(E126,">=",G126)	0
F'	=G56	=WB(E127,">=",G127)	0

F'	=G57	=WB(E128,">=";G128) 0
G	=G58	=WB(E129,">=";G129) 0
H	=G59	=WB(E130,">=";G130) 0
I'	=G60	=WB(E131,">=";G131) 0
I''	=G61	=WB(E132,">=";G132) 0
I'''	=G62	=WB(E133,">=";G133) 0
J'	=G63	=WB(E134,">=";G134) 0
J''	=G64	=WB(E135,">=";G135) 0
K	=G65	=WB(E136,">=";G136) 0

EST

A'	=I50	=WB(E139,">=";G139) 0
A''	=I51	=WB(E140,">=";G140) 0
B	=I52	=WB(E141,">=";G141) 0
C	=I53	=WB(E142,">=";G142) 0
D	=I54	=WB(E143,">=";G143) 0
E	=I55	=WB(E144,">=";G144) 0
F'	=I56	=WB(E145,">=";G145) 0
F''	=I57	=WB(E146,">=";G146) 0
G	=I58	=WB(E147,">=";G147) 0
H	=I59	=WB(E148,">=";G148) 0
I'	=I60	=WB(E149,">=";G149) 0
I''	=I61	=WB(E150,">=";G150) 0
I'''	=I62	=WB(E151,">=";G151) 0
J'	=I63	=WB(E152,">=";G152) 0
J''	=I64	=WB(E153,">=";G153) 0
K	=I65	=WB(E154,">=";G154) 0

FAL

A'	=J50	=WB(E157,">=";G157) 0
A''	=J51	=WB(E158,">=";G158) 0
B	=J52	=WB(E159,">=";G159) 0
C	=J53	=WB(E160,">=";G160) 0
D	=J54	=WB(E161,">=";G161) 0
E	=J55	=WB(E162,">=";G162) 0
F'	=J56	=WB(E163,">=";G163) 0
F''	=J57	=WB(E164,">=";G164) 0
G	=J58	=WB(E165,">=";G165) 0
H	=J59	=WB(E166,">=";G166) 0
I'	=J60	=WB(E167,">=";G167) 0
I''	=J61	=WB(E168,">=";G168) 0
I'''	=J62	=WB(E169,">=";G169) 0
J'	=J63	=WB(E170,">=";G170) 0
J''	=J64	=WB(E171,">=";G171) 0
K	=J65	=WB(E172,">=";G172) 0

Restrições t=3

[1]

A	= (I50+I51)+(K50+K51)-L50	=WB(H80,"=",J80)	=M50-N50
B	=I52+K52-L52	=WB(H81,"=",J81)	=M52-N52
C	=I53+K53-L53	=WB(H82,"=",J82)	=M53-N53
D	=I54+K54-L54	=WB(H83,"=",J83)	=M54-N54
E	=I55+K55-L55	=WB(H84,"=",J84)	=M55-N55
F	= (I56+I57)+(K56+K57)-L56	=WB(H85,"=",J85)	=M56-N56
G	=I58+K58-L58	=WB(H86,"=",J86)	=M58-N58
H	=K59-L59	=WB(H87,"=",J87)	=N59
I	= (K60+K61+K62)-L60	=WB(H88,"=",J88)	= (N60+N61+N62)
J	= (K63+K64)-L63	=WB(H89,"=",J89)	= (N63+N64)
K	=K65-L65	=WB(H90,"=",J90)	=N65

[3]

CT1	=SOMARPRODUTO(\$K\$50:\$K\$65;B5:B20)	=WB(H93,"=",J93)	=K69+M69
CT2	=SOMARPRODUTO(\$K\$50:\$K\$65;C5:C20)	=WB(H94,"=",J94)	=K70+M70
CT3	=SOMARPRODUTO(\$K\$50:\$K\$65;D5:D20)	=WB(H95,"=",J95)	=K71+M71
CT4	=SOMARPRODUTO(\$K\$50:\$K\$65;E5:E20)	=WB(H96,"=",J96)	=K72+M72
CT5	=SOMARPRODUTO(\$K\$50:\$K\$65;F5:F20)	=WB(H97,"=",J97)	=K73+M73
CT6	=SOMARPRODUTO(\$K\$50:\$K\$65;G5:G20)	=WB(H98,"=",J98)	=K74+M74
CT7	=SOMARPRODUTO(\$K\$50:\$K\$65;H5:H20)	=WB(H99,"=",J99)	=K75+M75

[4]

CT1	=K69+L69	=WB(H102,"=",J102)	=B69
CT2	=K70+L70	=WB(H103,"=",J103)	=B70
CT3	=K71+L71	=WB(H104,"=",J104)	=B71
CT4	=K72+L72	=WB(H105,"=",J105)	=B72
CT5	=K73+L73	=WB(H106,"=",J106)	=B73
CT6	=K74+L74	=WB(H107,"=",J107)	=B74
CT7	=K75+L75	=WB(H108,"=",J108)	=B75

[5]

CT1	=M69	=WB(H111,"<=",J111)	=C69
CT2	=M70	=WB(H112,"<=",J112)	=C70
CT3	=M71	=WB(H113,"<=",J113)	=C71
CT4	=M72	=WB(H114,"<=",J114)	=C72
CT5	=M73	=WB(H115,"<=",J115)	=C73
CT6	=M74	=WB(H116,"<=",J116)	=C74
CT7	=M75	=WB(H117,"<=",J117)	=C75

[7]

PRD

A'	=K50	=WB(H121,">=",J121)	0
A"	=K51	=WB(H122,">=",J122)	0
B	=K52	=WB(H123,">=",J123)	0
C	=K53	=WB(H124,">=",J124)	0
D	=K54	=WB(H125,">=",J125)	0
E	=K55	=WB(H126,">=",J126)	0
F'	=K56	=WB(H127,">=",J127)	0

F'	=K57	=WB(H128,">=";J128)	0
G	=K58	=WB(H129,">=";J129)	0
H	=K59	=WB(H130,">=";J130)	0
I'	=K60	=WB(H131,">=";J131)	0
I''	=K61	=WB(H132,">=";J132)	0
I'''	=K62	=WB(H133,">=";J133)	0
J'	=K63	=WB(H134,">=";J134)	0
J''	=K64	=WB(H135,">=";J135)	0
K	=K65	=WB(H136,">=";J136)	0

EST

A'	=M50	=WB(H139,">=";J139)	0
A''	=M51	=WB(H140,">=";J140)	0
B	=M52	=WB(H141,">=";J141)	0
C	=M53	=WB(H142,">=";J142)	0
D	=M54	=WB(H143,">=";J143)	0
E	=M55	=WB(H144,">=";J144)	0
F'	=M56	=WB(H145,">=";J145)	0
F''	=M57	=WB(H146,">=";J146)	0
G	=M58	=WB(H147,">=";J147)	0
H	=M59	=WB(H148,">=";J148)	0
I'	=M60	=WB(H149,">=";J149)	0
I''	=M61	=WB(H150,">=";J150)	0
I'''	=M62	=WB(H151,">=";J151)	0
J'	=M63	=WB(H152,">=";J152)	0
J''	=M64	=WB(H153,">=";J153)	0
K	=M65	=WB(H154,">=";J154)	0

FAL

A'	=N50	=WB(H157,">=";J157)	0
A''	=N51	=WB(H158,">=";J158)	0
B	=N52	=WB(H159,">=";J159)	0
C	=N53	=WB(H160,">=";J160)	0
D	=N54	=WB(H161,">=";J161)	0
E	=N55	=WB(H162,">=";J162)	0
F'	=N56	=WB(H163,">=";J163)	0
F''	=N57	=WB(H164,">=";J164)	0
G	=N58	=WB(H165,">=";J165)	0
H	=N59	=WB(H166,">=";J166)	0
I'	=N60	=WB(H167,">=";J167)	0
I''	=N61	=WB(H168,">=";J168)	0
I'''	=N62	=WB(H169,">=";J169)	0
J'	=N63	=WB(H170,">=";J170)	0
J''	=N64	=WB(H171,">=";J171)	0
K	=N65	=WB(H172,">=";J172)	0

Restrições t=4

[1]

A	=(M50+M51)+(O50+O51)-P50	=WB(K80,"=",M80)	=Q50-R50
B	=M52+O52-P52	=WB(K81,"=",M81)	=Q52-R52
C	=M53+O53-P53	=WB(K82,"=",M82)	=Q53-R53
D	=M54+O54-P54	=WB(K83,"=",M83)	=Q54-R54
E	=M55+O55-P55	=WB(K84,"=",M84)	=Q55-R55
F	=(M56+M57)+(O56+O57)-P56	=WB(K85,"=",M85)	=Q56-R56
G	=M58+O58-P58	=WB(K86,"=",M86)	=Q58-R58
H	=O59-P59	=WB(K87,"=",M87)	=-R59
I	=(O60+O61+O62)-P60	=WB(K88,"=",M88)	=-(R60+R61+R62)
J	=(O63+O64)-P63	=WB(K89,"=",M89)	=-(R63+R64)
K	=O65-P65	=WB(K90,"=",M90)	=-R65

[3]

CT1	=SOMARPRODUTO(\$O\$50:\$O\$65;B5:B20)	=WB(K93,"=",M93)	=N69+P69
CT2	=SOMARPRODUTO(\$O\$50:\$O\$65;C5:C20)	=WB(K94,"=",M94)	=N70+P70
CT3	=SOMARPRODUTO(\$O\$50:\$O\$65;D5:D20)	=WB(K95,"=",M95)	=N71+P71
CT4	=SOMARPRODUTO(\$O\$50:\$O\$65;E5:E20)	=WB(K96,"=",M96)	=N72+P72
CT5	=SOMARPRODUTO(\$O\$50:\$O\$65;F5:F20)	=WB(K97,"=",M97)	=N73+P73
CT6	=SOMARPRODUTO(\$O\$50:\$O\$65;G5:G20)	=WB(K98,"=",M98)	=N74+P74
CT7	=SOMARPRODUTO(\$O\$50:\$O\$65;H5:H20)	=WB(K99,"=",M99)	=N75+P75

[4]

CT1	=N69+O69	=WB(K102,"=",M102)	=B69
CT2	=N70+O70	=WB(K103,"=",M103)	=B70
CT3	=N71+O71	=WB(K104,"=",M104)	=B71
CT4	=N72+O72	=WB(K105,"=",M105)	=B72
CT5	=N73+O73	=WB(K106,"=",M106)	=B73
CT6	=N74+O74	=WB(K107,"=",M107)	=B74
CT7	=N75+O75	=WB(K108,"=",M108)	=B75

[5]

CT1	=P69	=WB(K111,"<=",M111)	=C69
CT2	=P70	=WB(K112,"<=",M112)	=C70
CT3	=P71	=WB(K113,"<=",M113)	=C71
CT4	=P72	=WB(K114,"<=",M114)	=C72
CT5	=P73	=WB(K115,"<=",M115)	=C73
CT6	=P74	=WB(K116,"<=",M116)	=C74
CT7	=P75	=WB(K117,"<=",M117)	=C75

[7]

PRD

A'	=O50	=WB(K121,">=",M121)	0
A"	=O51	=WB(K122,">=",M122)	0
B	=O52	=WB(K123,">=",M123)	0
C	=O53	=WB(K124,">=",M124)	0
D	=O54	=WB(K125,">=",M125)	0
E	=O55	=WB(K126,">=",M126)	0

F'	=O56	=WB(K127,">=";M127)	0
F"	=O57	=WB(K128,">=";M128)	0
G	=O58	=WB(K129,">=";M129)	0
H	=O59	=WB(K130,">=";M130)	0
I'	=O60	=WB(K131,">=";M131)	0
I"	=O61	=WB(K132,">=";M132)	0
I'''	=O62	=WB(K133,">=";M133)	0
J'	=O63	=WB(K134,">=";M134)	0
J"	=O64	=WB(K135,">=";M135)	0
K	=O65	=WB(K136,">=";M136)	0

EST

A'	=Q50	=WB(K139,">=";M139)	0
A"	=Q51	=WB(K140,">=";M140)	0
B	=Q52	=WB(K141,">=";M141)	0
C	=Q53	=WB(K142,">=";M142)	0
D	=Q54	=WB(K143,">=";M143)	0
E	=Q55	=WB(K144,">=";M144)	0
F'	=Q56	=WB(K145,">=";M145)	0
F"	=Q57	=WB(K146,">=";M146)	0
G	=Q58	=WB(K147,">=";M147)	0
H	=Q59	=WB(K148,">=";M148)	0
I'	=Q60	=WB(K149,">=";M149)	0
I"	=Q61	=WB(K150,">=";M150)	0
I'''	=Q62	=WB(K151,">=";M151)	0
J'	=Q63	=WB(K152,">=";M152)	0
J"	=Q64	=WB(K153,">=";M153)	0
K	=Q65	=WB(K154,">=";M154)	0

FAL

A'	=R50	=WB(K157,">=";M157)	0
A"	=R51	=WB(K158,">=";M158)	0
B	=R52	=WB(K159,">=";M159)	0
C	=R53	=WB(K160,">=";M160)	0
D	=R54	=WB(K161,">=";M161)	0
E	=R55	=WB(K162,">=";M162)	0
F'	=R56	=WB(K163,">=";M163)	0
F"	=R57	=WB(K164,">=";M164)	0
G	=R58	=WB(K165,">=";M165)	0
H	=R59	=WB(K166,">=";M166)	0
I'	=R60	=WB(K167,">=";M167)	0
I"	=R61	=WB(K168,">=";M168)	0
I'''	=R62	=WB(K169,">=";M169)	0
J'	=R63	=WB(K170,">=";M170)	0
J"	=R64	=WB(K171,">=";M171)	0
K	=R65	=WB(K172,">=";M172)	0

Restrições t=5

[1]

A	=(Q50+Q51)+(S50+S51)-T50	=WB(N80,"=",P80)	=U50-V50
B	=Q52+S52-T52	=WB(N81,"=",P81)	=U52-V52
C	=Q53+S53-T53	=WB(N82,"=",P82)	=U53-V53
D	=Q54+S54-T54	=WB(N83,"=",P83)	=U54-V54
E	=Q55+S55-T55	=WB(N84,"=",P84)	=U55-V55
F	=(Q56+Q57)+(S56+S57)-T56	=WB(N85,"=",P85)	=U56-V56
G	=Q58+S58-T58	=WB(N86,"=",P86)	=U58-V58
H	=S59-T59	=WB(N87,"=",P87)	=-V59
I	=(S60+S61+S62)-T60	=WB(N88,"=",P88)	=-(V60+V61+V62)
J	=(S63+S64)-T63	=WB(N89,"=",P89)	=-(V63+V64)
K	=S65-T65	=WB(N90,"=",P90)	=-V65

[3]

CT1	=SOMARPRODUTO(\$S\$50:\$S\$65;B5:B20)	=WB(N93,"=",P93)	=Q69+S69
CT2	=SOMARPRODUTO(\$S\$50:\$S\$65;C5:C20)	=WB(N94,"=",P94)	=Q70+S70
CT3	=SOMARPRODUTO(\$S\$50:\$S\$65;D5:D20)	=WB(N95,"=",P95)	=Q71+S71
CT4	=SOMARPRODUTO(\$S\$50:\$S\$65;E5:E20)	=WB(N96,"=",P96)	=Q72+S72
CT5	=SOMARPRODUTO(\$S\$50:\$S\$65;F5:F20)	=WB(N97,"=",P97)	=Q73+S73
CT6	=SOMARPRODUTO(\$S\$50:\$S\$65;G5:G20)	=WB(N98,"=",P98)	=Q74+S74
CT7	=SOMARPRODUTO(\$S\$50:\$S\$65;H5:H20)	=WB(N99,"=",P99)	=Q75+S75

[4]

CT1	=Q69+R69	=WB(N102,"=",P102)	=B69
CT2	=Q70+R70	=WB(N103,"=",P103)	=B70
CT3	=Q71+R71	=WB(N104,"=",P104)	=B71
CT4	=Q72+R72	=WB(N105,"=",P105)	=B72
CT5	=Q73+R73	=WB(N106,"=",P106)	=B73
CT6	=Q74+R74	=WB(N107,"=",P107)	=B74
CT7	=Q75+R75	=WB(N108,"=",P108)	=B75

[5]

CT1	=S69	=WB(N111,"<=",P111)	=C69
CT2	=S70	=WB(N112,"<=",P112)	=C70
CT3	=S71	=WB(N113,"<=",P113)	=C71
CT4	=S72	=WB(N114,"<=",P114)	=C72
CT5	=S73	=WB(N115,"<=",P115)	=C73
CT6	=S74	=WB(N116,"<=",P116)	=C74
CT7	=S75	=WB(N117,"<=",P117)	=C75

[7]

PRD

A'	=S50	=WB(N121,">=",P121)	0
A''	=S51	=WB(N122,">=",P122)	0
B	=S52	=WB(N123,">=",P123)	0
C	=S53	=WB(N124,">=",P124)	0
D	=S54	=WB(N125,">=",P125)	0
E	=S55	=WB(N126,">=",P126)	0
F'	=S56	=WB(N127,">=",P127)	0

F'	=S57	=WB(N128,">=";P128)	0
G	=S58	=WB(N129,">=";P129)	0
H	=S59	=WB(N130,">=";P130)	0
I'	=S60	=WB(N131,">=";P131)	0
I''	=S61	=WB(N132,">=";P132)	0
I'''	=S62	=WB(N133,">=";P133)	0
J'	=S63	=WB(N134,">=";P134)	0
J''	=S64	=WB(N135,">=";P135)	0
K	=S65	=WB(N136,">=";P136)	0

EST

A'	=U50	=WB(N139,">=";P139)	0
A''	=U51	=WB(N140,">=";P140)	0
B	=U52	=WB(N141,">=";P141)	0
C	=U53	=WB(N142,">=";P142)	0
D	=U54	=WB(N143,">=";P143)	0
E	=U55	=WB(N144,">=";P144)	0
F'	=U56	=WB(N145,">=";P145)	0
F''	=U57	=WB(N146,">=";P146)	0
G	=U58	=WB(N147,">=";P147)	0
H	=U59	=WB(N148,">=";P148)	0
I'	=U60	=WB(N149,">=";P149)	0
I''	=U61	=WB(N150,">=";P150)	0
I'''	=U62	=WB(N151,">=";P151)	0
J'	=U63	=WB(N152,">=";P152)	0
J''	=U64	=WB(N153,">=";P153)	0
K	=U65	=WB(N154,">=";P154)	0

FAL

A'	=V50	=WB(N157,">=";P157)	0
A''	=V51	=WB(N158,">=";P158)	0
B	=V52	=WB(N159,">=";P159)	0
C	=V53	=WB(N160,">=";P160)	0
D	=V54	=WB(N161,">=";P161)	0
E	=V55	=WB(N162,">=";P162)	0
F'	=V56	=WB(N163,">=";P163)	0
F''	=V57	=WB(N164,">=";P164)	0
G	=V58	=WB(N165,">=";P165)	0
H	=V59	=WB(N166,">=";P166)	0
I'	=V60	=WB(N167,">=";P167)	0
I''	=V61	=WB(N168,">=";P168)	0
I'''	=V62	=WB(N169,">=";P169)	0
J'	=V63	=WB(N170,">=";P170)	0
J''	=V64	=WB(N171,">=";P171)	0
K	=V65	=WB(N172,">=";P172)	0

Restrições t=6

[1]

A	= (U50+U51)+(W50+W51)-X50	=WB(Q80;"=",S80)	=Y50-Z50
B	=U52+W52-X52	=WB(Q81;"=",S81)	=Y52-Z52
C	=U53+W53-X53	=WB(Q82;"=",S82)	=Y53-Z53
D	=U54+W54-X54	=WB(Q83;"=",S83)	=Y54-Z54
E	=U55+W55-X55	=WB(Q84;"=",S84)	=Y55-Z55
F	= (U56+U57)+(W56+W57)-X56	=WB(Q85;"=",S85)	=Y56-Z56
G	=U58+W58-X58	=WB(Q86;"=",S86)	=Y58-Z58
H	=W59-X59	=WB(Q87;"=",S87)	=Z59
I	= (W60+W61+W62)-X60	=WB(Q88;"=",S88)	=-(Z60+Z61+Z62)
J	= (W63+W64)-X63	=WB(Q89;"=",S89)	=-(Z63+Z64)
K	=W65-X65	=WB(Q90;"=",S90)	=Z65

[3]

CT1	=SOMARPRODUTO(\$W\$50:\$W\$65;B5:B20)	=WB(Q93;"=",S93)	=T69+V69
CT2	=SOMARPRODUTO(\$W\$50:\$W\$65;C5:C20)	=WB(Q94;"=",S94)	=T70+V70
CT3	=SOMARPRODUTO(\$W\$50:\$W\$65;D5:D20)	=WB(Q95;"=",S95)	=T71+V71
CT4	=SOMARPRODUTO(\$W\$50:\$W\$65;E5:E20)	=WB(Q96;"=",S96)	=T72+V72
CT5	=SOMARPRODUTO(\$W\$50:\$W\$65;F5:F20)	=WB(Q97;"=",S97)	=T73+V73
CT6	=SOMARPRODUTO(\$W\$50:\$W\$65;G5:G20)	=WB(Q98;"=",S98)	=T74+V74
CT7	=SOMARPRODUTO(\$W\$50:\$W\$65;H5:H20)	=WB(Q99;"=",S99)	=T75+V75

[4]

CT1	=T69+U69	=WB(Q102;"=",S102)	=B69
CT2	=T70+U70	=WB(Q103;"=",S103)	=B70
CT3	=T71+U71	=WB(Q104;"=",S104)	=B71
CT4	=T72+U72	=WB(Q105;"=",S105)	=B72
CT5	=T73+U73	=WB(Q106;"=",S106)	=B73
CT6	=T74+U74	=WB(Q107;"=",S107)	=B74
CT7	=T75+U75	=WB(Q108;"=",S108)	=B75

[5]

CT1	=V69	=WB(Q111;"<=",S111)	=C69
CT2	=V70	=WB(Q112;"<=",S112)	=C70
CT3	=V71	=WB(Q113;"<=",S113)	=C71
CT4	=V72	=WB(Q114;"<=",S114)	=C72
CT5	=V73	=WB(Q115;"<=",S115)	=C73
CT6	=V74	=WB(Q116;"<=",S116)	=C74
CT7	=V75	=WB(Q117;"<=",S117)	=C75

[7]

PRD

A'	=W50	=WB(Q121;">=",S121)	0
A"	=W51	=WB(Q122;">=",S122)	0
B	=W52	=WB(Q123;">=",S123)	0
C	=W53	=WB(Q124;">=",S124)	0
D	=W54	=WB(Q125;">=",S125)	0
E	=W55	=WB(Q126;">=",S126)	0
F'	=W56	=WB(Q127;">=",S127)	0

F'	=W57	=WB(Q128,">=",S128)	0
G	=W58	=WB(Q129,">=",S129)	0
H	=W59	=WB(Q130,">=",S130)	0
I'	=W60	=WB(Q131,">=",S131)	0
I''	=W61	=WB(Q132,">=",S132)	0
I'''	=W62	=WB(Q133,">=",S133)	0
J'	=W63	=WB(Q134,">=",S134)	0
J''	=W64	=WB(Q135,">=",S135)	0
K	=W65	=WB(Q136,">=",S136)	0

EST

A'	=Y50	=WB(Q139,">=",S139)	0
A''	=Y51	=WB(Q140,">=",S140)	0
B	=Y52	=WB(Q141,">=",S141)	0
C	=Y53	=WB(Q142,">=",S142)	0
D	=Y54	=WB(Q143,">=",S143)	0
E	=Y55	=WB(Q144,">=",S144)	0
F'	=Y56	=WB(Q145,">=",S145)	0
F''	=Y57	=WB(Q146,">=",S146)	0
G	=Y58	=WB(Q147,">=",S147)	0
H	=Y59	=WB(Q148,">=",S148)	0
I'	=Y60	=WB(Q149,">=",S149)	0
I''	=Y61	=WB(Q150,">=",S150)	0
I'''	=Y62	=WB(Q151,">=",S151)	0
J'	=Y63	=WB(Q152,">=",S152)	0
J''	=Y64	=WB(Q153,">=",S153)	0
K	=Y65	=WB(Q154,">=",S154)	0

FAL

A'	=Z50	=WB(Q157,">=",S157)	0
A''	=Z51	=WB(Q158,">=",S158)	0
B	=Z52	=WB(Q159,">=",S159)	0
C	=Z53	=WB(Q160,">=",S160)	0
D	=Z54	=WB(Q161,">=",S161)	0
E	=Z55	=WB(Q162,">=",S162)	0
F'	=Z56	=WB(Q163,">=",S163)	0
F''	=Z57	=WB(Q164,">=",S164)	0
G	=Z58	=WB(Q165,">=",S165)	0
H	=Z59	=WB(Q166,">=",S166)	0
I'	=Z60	=WB(Q167,">=",S167)	0
I''	=Z61	=WB(Q168,">=",S168)	0
I'''	=Z62	=WB(Q169,">=",S169)	0
J'	=Z63	=WB(Q170,">=",S170)	0
J''	=Z64	=WB(Q171,">=",S171)	0
K	=Z65	=WB(Q172,">=",S172)	0