

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
TRABALHO DE FORMATURA

**PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO EM UMA
INDÚSTRIA DE ELEVADORES**

MARCIO ITO

Professor Orientador:
MIGUEL CEZAR SANTORO

TF1997
It 6 P

1997



Agradecimentos

Gostaria de expressar meus agradecimentos aos meus Pais,
amigos e professores, especialmente ao prof. Santoro,
além da Elevadores Atlas S.A., pela oportunidade
e apoio na realização deste trabalho.

Agradecimentos especiais para Adriana Russi,
por toda a força e incentivo,
obrigado!



SUMÁRIO

O trabalho trata do desenvolvimento de um modelo de planejamento agregado da produção, para uma fábrica de elevadores, com o objetivo de alimentar o módulo MPS (*Master Production Schedule*) do sistema integrado utilizado pela empresa. O módulo MPS tem como função desagregar um plano de produção proveniente de um planejamento agregado.

Utilizou-se os elevadores cujos componentes possuem produção Intermittente Repetitiva, formando classes de elevadores e de centros de trabalhos produtivos. Foram levantados os dados referentes à demanda, custos, roteiros e tempos de fabricação.

A modelagem do sistema de planejamento foi feita com base num modelo matemático linear de mínimo custo, utilizando-se um software dedicado na resolução destes tipos de problemas.

Ao final, são feitas análises da situação atual e projeções de aumento de demanda, verificando os resultados do plano de produção, cargas dos centros de trabalhos, antecipações sugeridas, atrasos e centros gargalos. Incluem-se, nesta parte, as análises de interface com o sistema MPS.



Capítulo I - Introdução

1. INTRODUÇÃO	7
----------------------------	----------

Capítulo II - A Empresa

1. A EMPRESA	10
1.1 FAMÍLIA DE PRODUTOS	11
1.1.1 Elevadores.....	13
1.1.2 Composição da Carteira de Elevadores.....	14
2. A ESTRUTURA DO PRODUTO	15
3. GERENCIAMENTO POR REDE DE ATIVIDADES.....	16
3.1 PLANEJAMENTO EM REDE	20
4. SISTEMA DE PRODUÇÃO	22
4.1 MINI-FÁBRICAS	23
4.2 GESTÃO DE MATERIAIS E ORDENS DE PRODUÇÃO	25
4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE MRP	26

Capítulo III - Planejamento da Produção - Revisão Teórica

1. INTRODUÇÃO	28
2. HIERARQUIA DE PLANEJAMENTO.....	28
2.1 TIPOS DE PRODUÇÃO E MODELOS DE PLANEJAMENTO.....	30
3. O PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO	34
3.1 ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE PLANEJAMENTO.....	36
3.2 MODELOS DE PLANEJAMENTO AGREGADO	42
4. CONCLUSÃO	44



Capítulo IV - Obtenção dos Dados para o Planejamento Agregado

1. INTRODUÇÃO	46
2. PRODUTOS	47
2.1 FAMÍLIAS DE PRODUTOS PARA O PLANEJAMENTO AGREGADO	48
2.2 DEMANDA	51
2.2.1 <i>Obtenção dos Dados de Demanda</i>	52
2.3 CUSTO UNITÁRIO DE PRODUÇÃO	57
3. CENTROS DE TRABALHOS.....	58
3.1 DEFINIÇÃO DOS CENTROS DE TRABALHO	59
3.2 CUSTO DAS HORAS.....	61
4. DADOS DOS PRODUTOS E CENTROS.....	62
4.1 CONSUMO DAS FAMÍLIAS PELOS CENTROS	63
4.2 CUSTOS DE ARMAZENAGEM E ATRASOS.....	66
5. ESTOQUES E ATRASOS INICIAIS	67
6. COMENTÁRIOS	67

Capítulo V - Desenvolvimento do Modelo Matemático

1. INTRODUÇÃO	69
2. MODELO MATEMÁTICO DE CUSTO LINEAR.....	70
3. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NO SOFTWARE	72



Capítulo VI - Resultados e Análises

1. RESULTADOS.....	77
2. ANÁLISES DA SITUAÇÃO ATUAL	79
2.1 PRODUÇÃO E ATRASO	80
2.2 ESTOQUE OU ANTECIPAÇÃO DA PRODUÇÃO	81
2.3 HORAS NORMAIS, OCIOSAS E EXTRAS.....	82
3. ANÁLISE COM AUMENTO DE DEMANDA.....	83
3.1 AUMENTO DA DISPONIBILIDADE DO CENTRO MC1.....	84
4. INTERFACE COM O SISTEMA MPS (MASTER PRODUCTION SCHEDULE) 	86

Capítulo VII - Conclusão

1. CONCLUSÃO	89
REFÊRENCIA BIBLIOGRÁFICA	91
ANEXOS	92



*CAPÍTULO I -
INTRODUÇÃO*



Planejamento Agregado da Produção em uma Indústria de Elevadores

1. Introdução

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia de planejamento da produção de elevadores que leve em consideração os dados de custo, de modo a fornecer a visão da carga de trabalho nos principais centros de trabalhos para os próximos seis meses, e auxiliar na tomada de decisão na elaboração de um plano de produção agregado, baseado num modelo de planejamento matemático linear de mínimo custo.

Os dados do plano de produção, considerando o nível de utilização dos centros de trabalho, serão utilizados como “inputs” no módulo MPS (*Master Production Schedule*) do sistema integrado utilizado pela empresa. Módulo este que está em fase de implantação.

Com a implantação, o sistema MPS executará a função de desagregar o plano agregado da produção, dando subsídios para o planejamento de materiais da empresa que poderá avaliar as necessidades de materiais com muito mais antecedência, além do sistema produtivo considerar de forma matematicamente otimizada os custos de produção e limitações de capacidade fornecidas pelo modelo desenvolvido.



Portanto, este trabalho é um complemento do sistema integrado da empresa, que não executa análises dos produtos e centros de trabalhos de forma agregada e nem considera os fatores limitantes de capacidade de recursos e custos de produção, mas, possui ótimos recursos e ferramentas para o controle de materiais, tais como os módulos de MPS e MRP.

De todos os tipos de elevadores fabricados, foram escolhidos apenas os que possuem o processo de fabricação Intermittente Repetitiva, representando 80% do volume de produção.

O Sistema Integrado na qual a empresa trabalha é o *Baan Triton*, onde grande parte dos dados foram coletados. As análises e manipulação dos dados, contudo, foram realizadas através dos softwares *Access*, *Excel* e o *LINDO Systems' What's Best!*, na resolução do modelo matemático.



CAPÍTULO II -

A EMPRESA



1. A Empresa

A Elevadores Atlas S.A. foi criada em janeiro de 1996, surgida da antiga divisão de Elevadores das Indústrias Villares S.A., existente desde 1918. Ela é a maior fabricante e prestadora de serviços do país com 33% do mercado, sendo líder no seu segmento.

Atualmente ela está focada em três unidades de negócios:

- Novos Equipamentos (Elevadores e Escadas Rolantes);
- Prestação de Serviços de Manutenção e
- Modernizações.

Desde seu início de operação em 1918, vendeu mais de 75.000 elevadores o que representa, aproximadamente, quarenta porcento dos atuais elevadores em operação no Brasil. Aliada a estas vendas estão os serviços de manutenção que a companhia presta para mais de 55.000 elevadores.

As Modernizações surgiram da necessidade de reformas de equipamentos tecnologicamente ultrapassados ou antigos nas quais peças, ou até mesmo o elevador completo, são substituídos por novos componentes que trazem a renovação tecnológica de acordo com as necessidades dos clientes.

A unidade de negócio de Novos Equipamentos consiste da venda, fabricação e entrega de elevadores e escadas rolantes, geralmente para construtoras. O prazo de entrega médio dos elevadores é de doze meses, porém, existem elevadores vendidos com prazos maiores de três anos.



O mercado de elevadores está habituado a comprar este produto com prazos longos, e muito dificilmente, são exigidos prazos menores do que seis meses, fazendo com que os dados de previsão de venda sejam levados em consideração somente após o sexto mês do mês corrente.

Assim, os seis próximos meses sempre estão com a carteira tomada, sendo uma vantagem perante aos outros tipos de indústrias, que não tem este privilégio de contar com a produção vendida por um período tão grande. Porém, esta vantagem só é conseguida porque o ciclo de vida do produto, os de produção intermitente repetitiva, na empresa é bem menor que os seis meses mínimos de prazo de entrega.

1.1 Família de Produtos

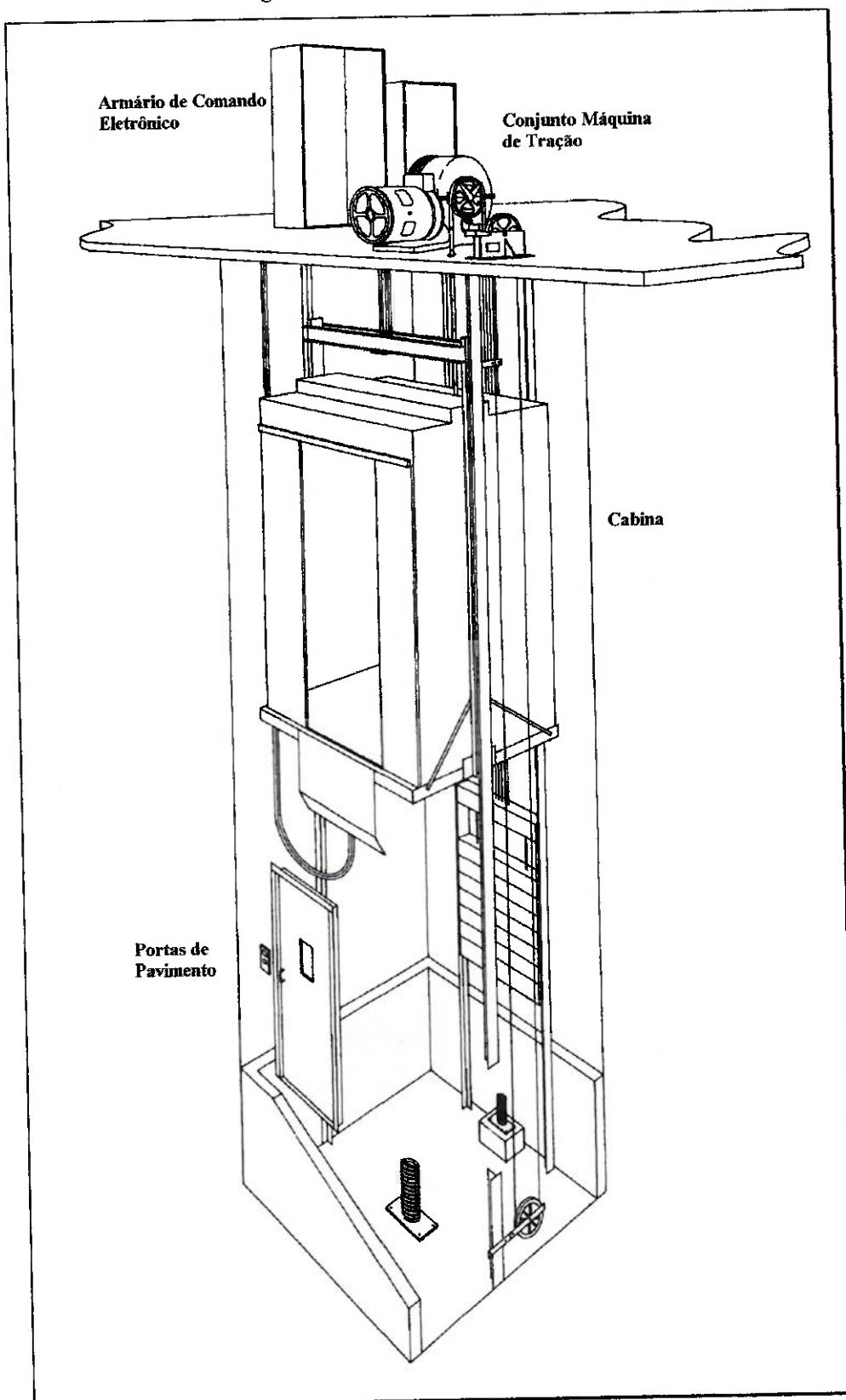
A linha de produtos oferecidos pela empresa são especialmente desenvolvidos para o transporte vertical, Elevadores e Escadas Rolantes.

A título de ilustração, a figura 1 da próxima página mostra um elevador considerado padrão e seus principais componentes em destaque.

Este tipo de elevador pertence à classe dos Estruturados, enfoque do trabalho, como será visto adiante.



Figura II.1 - Elevador Estruturado



Fonte: Catálogo de Produtos 1996 - Elevadores Atlas S.A.



1.1.1 Elevadores

A empresa comercializa elevadores e escadas rolantes para todos os nichos do mercado, como mostrado abaixo:

- *Elevadores Residenciais* - Destinado aos prédios residenciais e que geralmente não exigem do produto elevada capacidade de carga e velocidade.
- *Elevadores Comerciais* - Destinados aos prédios comerciais, tais como empresas, hotéis, órgãos públicos, etc. Para esta classe de elevadores os recursos tecnológicos envolvidos são maiores, já que uma maior velocidade e capacidade de carga são exigidos com maior frequência.
- *Elevadores Panorâmicos* - Destinado, principalmente, aos Shoppings, Hotéis e edifícios comerciais. Estes são elevadores com um grande parte do projeto e fabricação de acordo com as necessidades dos clientes, com muitos componentes fora do padrão.
- *Elevadores Hidráulicos* - São elevadores que utilizam como força de acionamento um pistão hidráulico ao invés do cabo de aço de tração. Este tipo de elevador é utilizado para um número reduzido de andares e/ou edificações que não disponham de espaço para a casa de máquinas sobre a caixa do elevador, já que ele não necessita do espaço superior, e sim, um inferior. Não interfere muito na fabricação porque a maioria de seus componentes são importados.
- *Outros Elevadores* - São compostos por elevadores dos tipos Maca (para hospitais e com duas portas de saídas), Carga e monta-carga, garagem, etc.



- *Escadas Rolantes* - Fornecidas aos Shoppings, Estações de trens, Edifícios comerciais, etc.

1.1.2 Composição da Carteira de Elevadores

Os elevadores listados anteriormente foram classificados da seguinte maneira:

Tabela II.1 - Composição da Carteira e Respectivas Participações

Classificação	Composição	Participação na Carteira ¹
Estruturados	Residenciais e Comerciais	79,1 %
Não Estruturados	Residenciais e Comerciais com diferenciações, hidráulicos, maca, garagem.	19,2 %
Especiais	Panorâmicos	1,7 %

Elaborado pelo autor

Para este trabalho foram utilizados somente os elevadores do tipo Estruturados, pois representam aproximadamente 80 por cento do volume, além de possuírem roteiros e tempos de produção bem definidos, o que não ocorre com os elevadores Não Estruturados e Especiais, já que estes últimos são dotados de características não padrão conforme o pedido dos clientes, inviabilizando, assim, o processo de agrupamento dos produtos para o planejamento agregado da produção.

¹ Total de 2413 elevadores vendidos e a serem entregues nos próximos períodos.

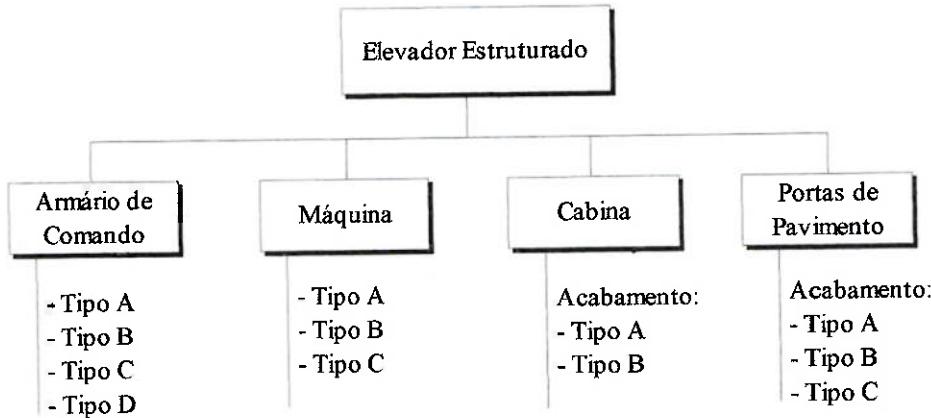


Portanto, os elevadores do tipo Estruturados são produtos com produção **Intermitente Repetitiva**, enquanto que as demais classes de elevadores são muitas vezes fabricados sob encomenda, em mini-fábricas dedicadas.

2. A Estrutura do Produto

De forma genérica, um elevador da classe dos Estruturados pode ser composto por alguns componentes ou acabamentos que variam de acordo com o pedido do Cliente. Entretanto, como dito anteriormente, todas estas variações são compostas por itens fabricados de forma intermitente repetitiva.

Figura II.2 - Estrutura Genérica de um Elevador Estruturado



Elaborado pelo autor



3. Gerenciamento por Rede de Atividades

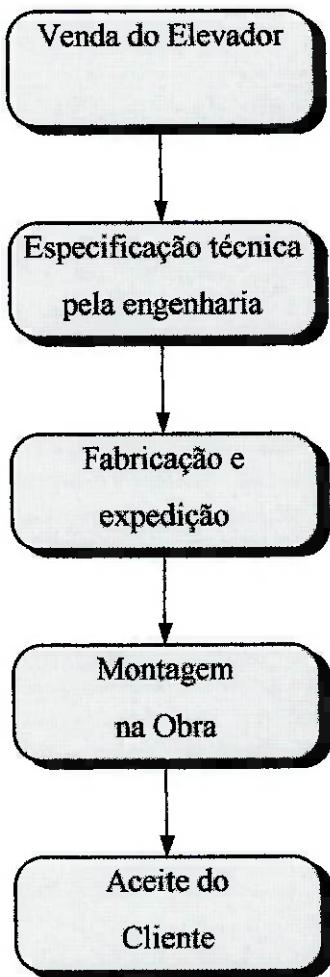
As operações da empresa estão baseadas num Sistema Integrado (CIM), implantado no primeiro semestre de 1996, com o objetivo de possuir uma base única de dados, além de informações *on-line* integradas com toda empresa.

Para todo produto vendido associa-se uma numeração sequencial que representa o número do projeto para o equipamento durante toda sua vida, dentro e fora da companhia. A partir destes vários projetos vendidos, eles são administrados por um Gerenciamento de Redes de Atividades do próprio CIM.



O processo de venda à entrega de elevadores segue conforme o fluxo abaixo:

Figura II.3 - Fluxo do Processo da Venda à Entrega



Elaborado pelo autor

1- Venda do elevador

A partir da assinatura do contrato, as informações relativas ao projeto (cada produto é considerado um projeto) começam a ser cadastrados no sistema.



Nesta etapa são alimentados dados gerais do elevador, tais como:

- Número de paradas de pavimento;
- Velocidade;
- Tipo da cabina e portas de pavimento;
- Capacidade de carga;
- Tipo de armário de comando;
- e outros dados necessários para a formação de preço.

2- Especificação técnica

Como visto anteriormente, na estrutura de produto, todas as variáveis da sua configuração devem ser definidas e alimentadas no sistema. São a partir destes dados que forma-se a real estrutura do produto do elevador sendo, então, possível para o sistema verificar a necessidade de materiais de itens manufaturados e comprados, através do sistema de MRP.

3- Fabricação

De modo geral, os componentes do elevador são fabricados em Mini-fábricas dedicadas a cada classe de componentes (eletro-eletrônicos, mecânicos, chaparias, etc.). Eles são fabricados a partir de ordens de fabricação geradas pelo sistema, ou cartões *Kanban*, geradas pelas necessidades do próprio processo produtivo.

4- Montagem

Esta etapa consiste na instalação do produto nas edificações do Cliente e envolve muita interface com o mesmo, pois, normalmente o produto é montado enquanto a obra civil ainda se desenvolve.



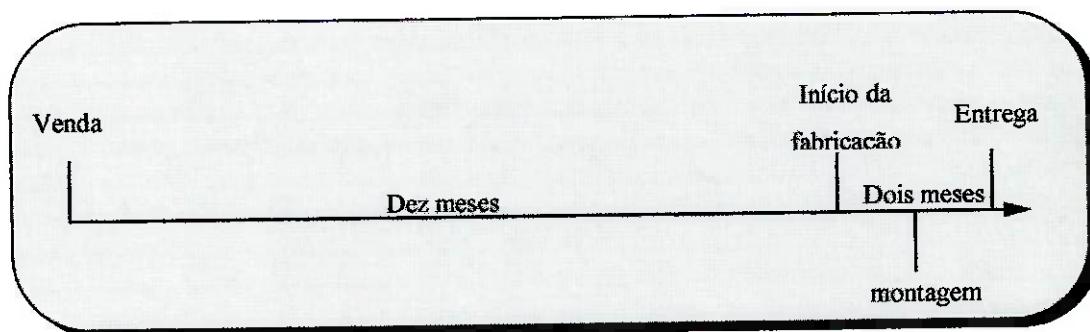
Este desenvolvimento da obra civil é um fator muito importante na programação da produção pois deve-se iniciar a produção do elevador somente se a situação do local de instalação estiver em condições adequadas.

5- Aceite do Cliente

Após a instalação e regulagem do elevador, o Cliente passa à outra unidade de negócio da companhia, a área de prestações de serviços de manutenção. Nesta transição o Cliente fornece seu “aceite”, e só então o produto vendido passa a ser considerado na Receita contábil da empresa, por este motivo a entrega do produto é um ponto muito importante para efeito dos resultados financeiros.

No diagrama abaixo é possível visualizar todo este processo, para um elevador do tipo estruturado, em função do tempo, considerando uma venda com prazo de entrega de doze meses.

Figura II.3 - Tempo entre as etapas do processo



Elaborado pelo autor

Nota-se que os maiores custos do elevador são incorridos nos últimos três meses do processo, devido às compras de materiais e ao próprio custo de fabricação e montagem do equipamento.



No período entre a venda e o início da fabricação, ocorrem os processos de especificação do produto, de acordo com o pedido do Cliente, porém o *lead-time* desta operação é, em média, de um mês. Portanto, existe uma folga grande nesta atividade tornando-se um fator importante para o planejamento da produção.

3.1 Planejamento em Rede

Neste sistema de produção analisado, são necessários dois tipos básicos de planejamento. O primeiro envolve um gerenciamento global dos projetos em andamento com análise das principais atividades que compõem o projeto como um todo (planejamento em redes), e outro tipo de planejamento específico para a produção (planejamento agregado da produção).

Na medida que os contratos de venda são fechados, os projetos são cadastrados em Redes de Atividades com *lead-times* e atividades padrão de acordo com a classe do produto (Estruturado, não-estruturados e especiais), assim, todos os projetos passam a ser gerenciados em função das datas de início e término de cada atividade.

O sistema utilizado determina, então, as cargas de trabalho demandadas por centros de trabalhos em função do tempo. Fica a cargo do administrador do centro de trabalho reprogramar as atividades da rede de modo a não exceder a capacidade de recurso disponível.



Esta é uma deficiência do sistema atual pois não executa os processos de nivelamento de recursos, ou seja, o sistema não encontra um programa que utilize os recursos disponíveis de forma mais nivelada possível sem ultrapassar o tempo crítico.

Portanto, o sistema executa uma programação calculando somente datas e folgas, em função dos *lead-times* e data de entrega do projeto, não considerando a limitação de capacidade.

Para um elevador do tipo estruturado são gerenciadas as seguintes atividades básicas com suas respectivas datas: Primeira e última data de início, e primeira e última data de término.

Tabela II.2 - Atividades básicas para Elevadores Estruturados

Cód	Descrição da atividade	Duração (dias)	Recurso	Ativid. Preced
10	Assinatura do contrato	0	Comercial	-
20	Especificação básica	2	Comercial	10
30	Elaboração desenho de montagem	1	Engenharia	20
40	Especificação completa	2	Engenharia	30
50	Fabricação	5	Produção	40
60	Expedição	2	Expedição	50
70	Montagem	15	Montagem	60
80	Entrega ao Cliente	0	Montagem	70

Elaborado pelo autor

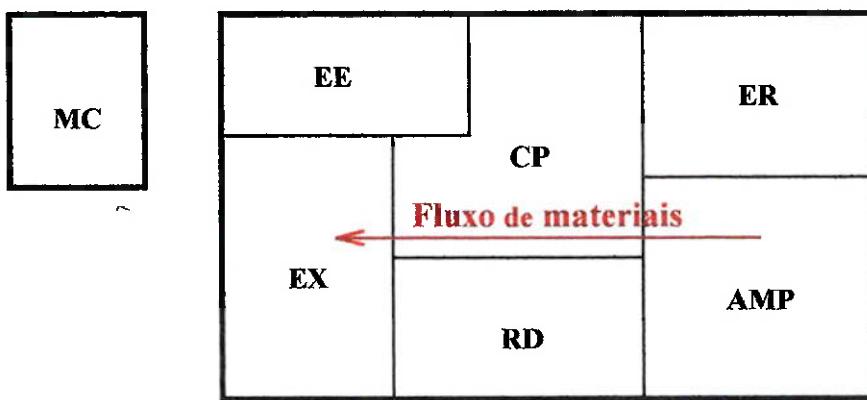
O escopo deste trabalho está voltado no planejamento agregado da produção da atividade 50.



4. Sistema de Produção

O sistema de produção da empresa está centralizado numa única planta fornecedora de equipamentos para todas as filiais existentes no Brasil. A fábrica está dividida em mini-fábricas dedicadas a cada sub-sistema que forma o conjunto elevador. Um esquema da planta é representada a seguir pela figura II.5.

Figura II.5 - Esquema da fábrica



Cada mini-fábrica, no esquema representado, é responsável pela fabricação ou montagem de conjuntos que formam o elevador completo. Elas envolvem usinagem, estamparia e montagem: mecânica, de componentes elétricos e de conjuntos comprados e/ou fabricados.

Todo subproduto fabricado ou montado é enviado à expedição onde os componentes do projeto são agrupados e despachados. Deste modo, não é possível visualizar o elevador acabado na expedição, somente as suas partes. Isto ocorre porque todos estes componentes são montados na obra civil do cliente.



4.1 Mini-fábricas

MC - É responsável pela montagem de componentes eletrônicos do elevador, tais como armários de comando, botoeiras da cabina e de pavimentos, indicadores de posição, etc. Possui como matérias prima básicas para o processo, componentes comprados (placas de circuito eletrônico, fiação, e outros importados), além de alguns itens fornecidos por outras mini-fábricas.

CP - É o centro de trabalho que agrega a maior quantidade de horas na produção do elevador, quando ele é do tipo estruturado. Esta mini-fábrica produz as Cabines e Portas do elevador. O centro de trabalho é, portanto, composto de máquinas de estamparia, corte, dobraria, lixadeiras, área de pintura, montagem de subconjuntos, etc.

As matérias primas básicas utilizadas são chapas de aço carbono ou aço inoxidável, madeira, perfis de alumínio e de aço, além de itens comprados.

RD - Este é um centro de trabalho de usinagem que produz as máquinas de tração do elevador. O motor e a caixa do conjunto redutor são comprados, porém a usinagem da caixa e de seus componentes, tais como engrenagens (coroas e sem-fim), polias, etc., são realizadas neste setor.



EX - É o setor de expedição dos componentes para o Cliente. É também um ponto do processo de produção que mede o grau de sincronismo das mini-fábricas com relação às suas produções, que deve sempre ser compatíveis uma com as outras. Isso porque todos os componentes que formam um elevador devem chegar à expedição na data programada.

Vale ressaltar que este sincronismo produtivo depende de uma boa programação da produção atrelada a um bom Planejamento Agregado da produção.

EE - É a mini-fábrica dedicada à produção dos elevadores não padrão, aqueles não pertencentes à classe dos Estruturados. São produzidas as cabines dos elevadores panorâmicos, hidráulicos, plataformas da cabina especiais, etc. Utilizam-se máquinas e mão de obra especializada, pois muitos dos componentes fabricados aqui são quase que artesanais.

ER - É o centro de trabalho responsável pela fabricação das Escadas Rolantes. Este setor está dividido em sub-seções responsáveis pela fabricação da treliça, degraus, guarda corpo (paredes laterais da escada), e montagem completa.

Esta mini-fábrica possui um setor de expedição dedicado, e ao contrário do elevador, as escadas rolantes saem da fábrica completamente montadas, prontas para serem instaladas na obra civil do Cliente.



4.2 Gestão de Materiais e Ordens de Produção

Os itens necessários à fabricação do elevador começam a ser “vistos” pelo sistema após especificação do mesmo (quando forma-se a estrutura do produto para o projeto). Neste ponto, as necessidades de materiais são geradas por intermédio de um sistema MRP, onde as ordens de compra ou de fabricação são sugeridas nas datas corretas.

A gestão de materiais também é feita por um outro sistema, mais utilizado para os itens de demanda independente. Este sistema chamado *SIC* (*Statistics Inventory Control*) analisa a demanda média dos últimos seis meses e sugere ordens de compra ou fabricação em função destes dados. É, portanto, um sistema que não visualiza as necessidades futuras, sendo necessário uma cobertura de estoque muitas vezes alta para amortecer as flutuações de demanda.



4.3 Considerações sobre MRP

Um sistema de MRP não considera a restrição de capacidade no seu planejamento, pois mostra somente as necessidades de materiais em uma determinada data não importando se é possível ou não fabricar tais materiais.

Porém, com um plano de produção de médio prazo adequado às capacidades em que um sistema de MRP possa se basear, pode-se minimizar a deficiência do sistema de não analisar a capacidade de produção. É possível, portanto, utilizar um sistema de MRP de forma mais eficiente somente para uma demanda de produtos sugeridos a partir de um plano de Planejamento Agregado da Produção, que leva em consideração a limitação de recursos no seu plano (vide tópico 4 - *Interface com o Sistema MPS* - Capítulo VI).



CAPÍTULO III -
PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO
REVISÃO TEÓRICA



1. Introdução

O objetivo deste capítulo é mostrar de forma simples a teoria básica do Planejamento da Produção com seus diversos modelos de planejamento e o encaminhamento para a escolha do modelo utilizado neste trabalho.

2. Hierarquia de Planejamento

O planejamento de uma empresa é caracterizado por vários níveis, desde o planejamento estratégico até o nível de programação das atividades mais básicas. Porém, para todos estes níveis existem relações em que as decisões do nível acima tornam-se restrições do nível imediatamente inferior, ou seja, as decisões do planejamento estratégico vão se desdobrando em detalhes cada vez maiores e com horizontes de execuções das atividades cada vez menores.

O Planejamento Agregado da Produção localiza-se em um nível intermediário desta hierarquia, pois, como será visto adiante, a sua preocupação é com um horizonte de médio prazo e com famílias de produtos em períodos mensais de produção. Não se preocupa com os níveis de produção para os próximos cinco anos ou dez anos (Planejamento Estratégico) e nem tampouco com a produção do dia seguinte (programação fina da produção).



A tabela III.1 mostra a relação dos três horizontes de planejamento (longo, médio e curto prazo), em função de diversos dados de entrada, saída e variáveis sob controle gerencial em que a organização deseja se planejar

Tabela III.1 - Tipos de Horizontes de Planejamento

Horizonte de Planejamento			
	Muitos Anos	Um mês a alguns anos	Um dia a alguns meses
Entradas	Previsão de: Tendências econômicas. Tendência populacional. Mudanças sociais e políticas. Fatores competitivos. Custos de produção e distribuição. Inovações tecnológicas. Restrições de capital.	Previsão de: Vendas e prazos. Custos. Suprimentos Política e restrições a: Horas extras Admissão e demissão Estoques Capital Planos de longo prazo Carteira de pedidos	Plano de produção agregado. Progresso das vendas atuais em função da previsão de vendas. Situação corrente do estoque.
Saidas	Plano de longo prazo das instalações e sua localização.	Planejamento Agregado para o uso dos vários recursos produtivos.	Programa de produção detalhado para o mix demandado.
Variáveis sob controle gerencial	Alocação de recursos para a planta de equipamentos, engenharia e marketing. Determinação do tamanho e localização da planta e depósitos. Desenvolvimento de produtos complementares.	Dimensionamento da mão de obra. Nível de produção Estoques Subcontratações Tamanho da carteira de pedidos.	Nível de produção. Mudanças em funcionários ou máquinas. Utilização de horas extras Mudanças no mix de produção.

Fonte: Buffa & Miller, *Production Inventory Systems: Planning and Control - Third edition*.



2.1 Tipos de Produção e Modelos de Planejamento

O auxílio nas tomadas de decisões são baseadas, de modo explícito ou não, em algum dos modelos de planejamento listados abaixo:

- *Modelos de Planejamento e Controle de Estoques*

São os modelos mais tradicionais e atuam de forma reativa, só enxergam a necessidade de matéria prima quando os níveis de estoque estão baixos, além de não considerar a transformação física e limitação de capacidade.

Trabalham com detalhe do item, sem agregação.

- *Modelos de Cálculo de Necessidades (MRP)*

São modelos muito utilizados em indústrias com processos intermitentes, pois consideram a transformação física da matéria prima, porém não consideram a limitação de capacidade. Trabalham com detalhe do item, procurando eliminar os estoques e faltas baseando-se em estimativas de *lead-time* de fabricação ou compras e estoques de segurança.

- *Modelos de Planejamento Agregado da Produção*

São conceitualmente enquadrados nos modelos de planejamento e controle de estoque porque consideram a transformação física, podendo considerar formalmente custos associados aos atos de produzir, estocar e atender a vendas, além de considerar a limitação de capacidade e trabalhar com agregação de produtos. Será visto com mais detalhes adiante.



- *Modelos de Sequenciação*

Utilizados em processos intermitentes para definir, por exemplo, a melhor sequência de processamento de ordens de produção de modo a maximizar o desempenho do sistema. São modelos que podem considerar formalmente custos associados aos atos de comprar, produzir, estocar e atender a vendas, e também, a capacidade de recursos. Trabalham em detalhe de item que pode ser a disagregação de um modelo de planejamento agregado.

- *Modelos de Balanceamento de Linhas*

Aplicados em indústrias de processo contínuo, em linhas de produção ou de montagem. Consideram a transformação física, limitação de capacidade e trabalham com informações detalhadas dos produtos e processos sem agregação.

- *Modelos de Planejamento e Programação em Redes*

Normalmente utilizados em grandes projetos que contenham várias atividades a serem executadas. Consideram prazos de atendimento e não custos, e também trabalham com limitação de recursos, podendo considerar informações agregadas e/ou detalhadas dos produtos e processos.



Os modelos citados são utilizados em função dos tipo de produção da empresa, que pode ser:

- Estoque puro (ex. farmácia, supermercados)
- Contínua pura ou com diferenciação (ex. indústrias químicas, alimentícias)
- Intermitente repetitiva ou sob encomenda (ex. autopeças, ferramentarias)
- Grandes projetos (ex. construção civil)

Apesar de existirem algumas exceções, a tabela III.2 caracteriza bem o enquadramento dos tipos de produção em função dos seus tipos de produtos, demandas, processos e estoques entre empresa e consumidor.

Tabela III.2 - Tipos de produção

Tipo de Produção	Nº de produtos	Diferenciação entre produtos	Nível de Demanda	Variação no roteiro	Estoque entre empresa e consumidor
<i>Contínua pura</i>	Um	Nenhuma	Grande	Nenhuma	Alto
<i>Contínua Diferenc.</i>	Poucos	Pouca	Grande	Pouca	Alto
<i>Intermitente repetitiva</i>	Médio/ Alto	Média/ Alta	Média	Pouca/ Média	Baixo
<i>Intermitente encomenda</i>	Alto	Alta	Média/ Baixa	Média/ Alta	Nenhum
<i>Grandes Projetos</i>	Muitas Atividades	Alta	Baixa	Alta	Nenhum

Fonte: Santoro, M. C. - Apostila 9/94



No capítulo II, vimos que a família de produtos escolhida para o desenvolvimento do trabalho foi a dos **Elevadores Estruturados**, que se enquadra no tipo de produção **Intermitente Repetitiva**.

Conhecendo, então, o tipo de produção de determinada empresa, é possível associar a ela um modelo de planejamento adequado de acordo com a tabela III.3.

Tabela III.3 - Modelos de Planejamento

Tipo de Produção	Modelos de Planejamento		Modelos de Programação
Estoque puro	Planejamento e controle de estoques		
Continua	Planejamento Agregado	Balanceamento de linhas	
Intermitente	Planejamento Agregado	Sequenciação	
Grandes Projetos	Planejamento em Redes	Programação em Redes	

Fonte: Santoro, M. C. - Apostila 9/94

Para o tipo de produção Intermitente, o modelo de planejamento mais adequado é o de *Planejamento Agregado da Produção*.

¹ *O sistema de produção dos elevadores estruturados é do tipo Intermitente Repetitiva, e não pode ser confundido com o sistema de produção “Sob Encomenda”. Isto porque a fabricação das partes e peças deste tipo de elevador é feita de forma repetitiva, ocorrendo, na verdade, uma montagem sob encomenda (“Assemble to Order”). Embora exista a famílias de produto do tipo Especiais que realmente pode ser caracterizados por “Sob Encomenda”, os elevadores panorâmicos, P.e.*

¹ *Nota do autor*



3. O Planejamento Agregado da Produção

Em um sistema de manufatura, é muito importante haver uma preocupação com a programação dos equipamentos e a força de trabalho humana, além do gerenciamento de estoques e fluxo de materiais. Assim, em muitos sistemas de produção estes pontos de decisões, em que todos estes fatores são considerados, envolvem o Planejamento Agregado da Produção.

O planejamento agregado e suas decisões, refletidas no Plano de Produção, proporcionam pontos comuns nas quais a capacidade e os estoques podem ser considerados juntamente com os planos estratégicos de longo prazo da empresa, além de prover dados para o plano financeiro e decisões de programação. O Planejamento Agregado é, portanto, o ponto de partida para muitos sistemas de controle de manufatura.

Ele pode ser entendido como um sistema de auxílio na tomada de decisões de como utilizar os recursos produtivos num horizonte de médio prazo. Esta decisão define o Plano de Produção que especifica de que forma deve se dar essa utilização no tempo.

Utilizam-se os dados de forma *Agregada*, devido ao grande número de variáveis, parâmetros e informações a serem consideradas, o que impossibilita a visão do detalhe inicialmente desejado nas tomadas de decisões.



Em um sistema de manufatura são, freqüentemente, feitas perguntas do tipo:

- Com que extensão deve-se utilizar os estoques para absorver as flutuações de demanda que irão ocorrer nos próximos seis ou doze meses?
- Porque não absorver esta flutuação, simplesmente, variando a força de trabalho, admitindo e demitindo pessoas de acordo com a demanda?
- Porque não manter um nível de mão de obra alto, atendendo os picos de demanda com horas extras ou horas ociosas, nos períodos de baixa?
- Deve-se deixar de atender a demanda por falta de capacidade?

Na maioria dos casos é provável que a utilização pura de uma destas estratégias não será tão eficaz quanto uma combinação entre elas. Existem custos associados para cada uma destas estratégias, então, o que deve-se procurar é uma inteligente da combinação das alternativas.

Se utilizarmos os estoques para absorver às flutuações de demanda, custos de capital e de obsolescência, bem como custos de estocagem física e manuseio, tenderão todos a aumentar.

Variar a força de trabalho, admitindo e demitindo conforme a demanda, causam custos de admissão e demissão, além de tempo de aprendizagem e desgaste da imagem da empresa perante a sociedade. Utilizar horas extras nos períodos alta demanda, ou sub-utilizar nos períodos de baixa demanda, também causam custos de horas extras e horas ociosas, respectivamente.

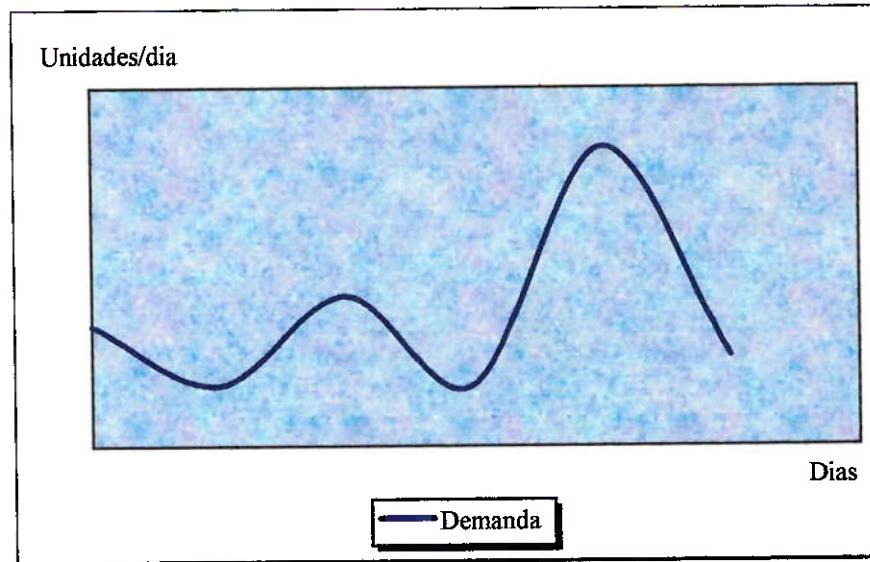


Muitos dos custos afetados no planejamento agregado são difíceis de medir, tais como os custos não atendimento do pedido, de atrasos, perda de imagem perante o público, etc. Entretanto, todos eles são considerados de uma forma ou outra numa decisão gerencial.

3.1 Análise das Alternativas de Planejamento

A título de se apresentar as diversas variáveis de decisão de um modelo de planejamento agregado, serão analisados, de forma qualitativa, alguns planos de produção para atender uma determinada demanda fictícia como mostrada abaixo¹.

Gráfico III.1 - Demanda



¹ Gráficos transcritos de Santoro, M.C., PPCPE apostila 9/94.



Plano 1 - Produção constante

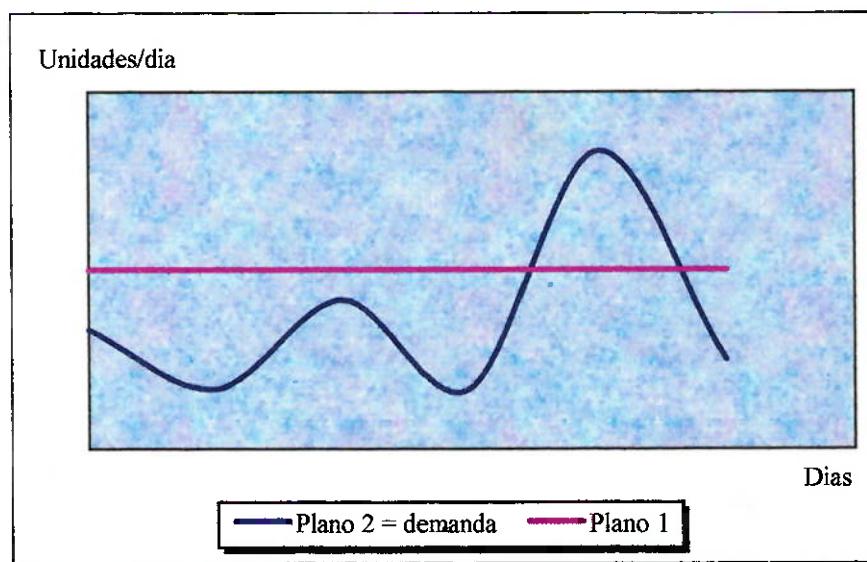
Um plano com produção constante que atenda ao volume necessário no término do horizonte de planejamento possui a vantagem de não haver oscilação de mão de obra, e as oscilações da demanda são contrabalançadas com um nível de estoque alto (**custo de armazenagem**) - gráfico III.2.

Plano 2 - Produção de acordo com as necessidades

Este é o tipo de produção que muitas empresas procuram buscar, mas para isso os seus sistemas de manufatura devem ser extremamente flexíveis, com baixa dependência de mão de obra e intensa automatização. Se o caso não for esse, é necessário uma alta rotatividade de mão de obra, variando a força de trabalho com admissões e demissões, de acordo com as necessidades de demanda. A vantagem deste plano é o baixo nível de estoque (**custos de admissão e demissão**).

O gráfico a seguir mostra como seria o Plano 1 e o Plano 2.

Gráfico III.2 - Planos 1 e 2

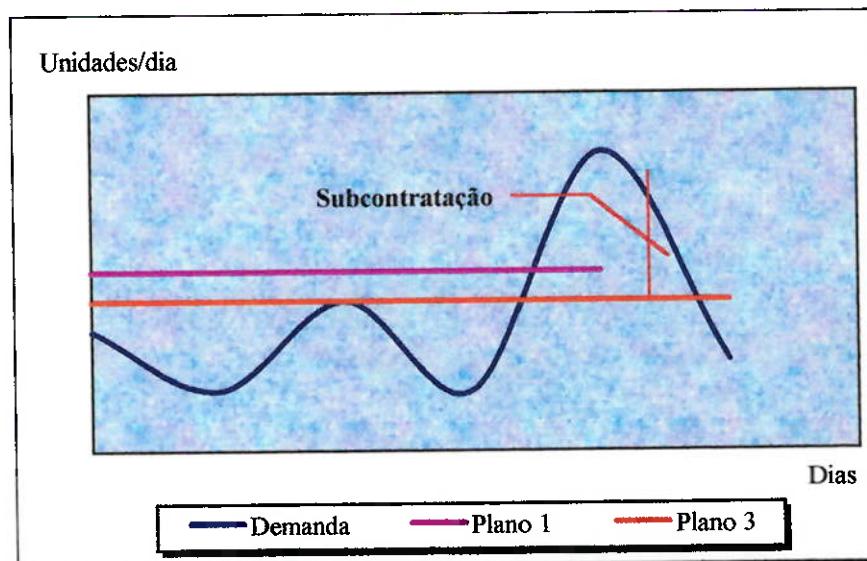




Plano 3 - Produção constante sem permissão de falta (utiliza subcontratação)

Este plano é, também, de produção constante, porém em um nível abaixo do Plano 1, gerando um estoque menor, entretanto, nos picos de demanda utiliza-se produção subcontratada para atender às necessidades (**custo de subcontratação**) - gráfico III.3.

Gráfico III.3 - Plano 3

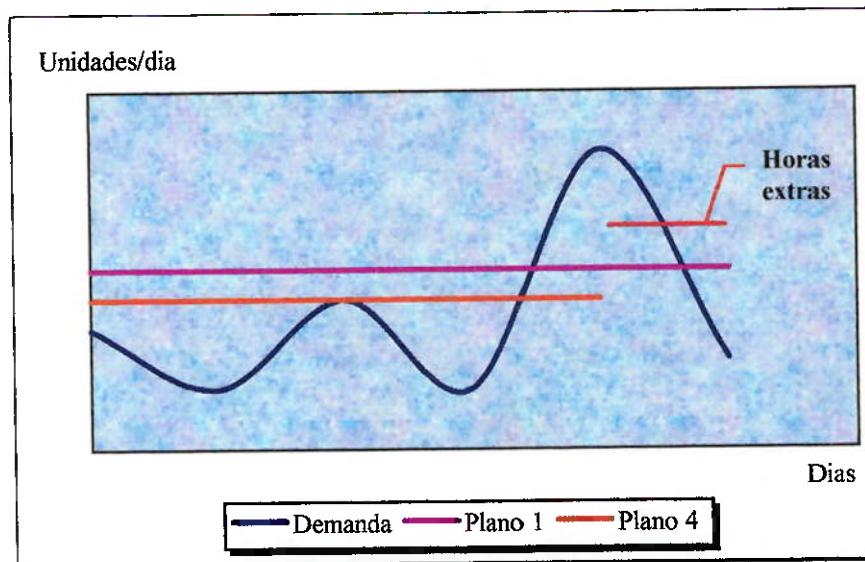




Plano 4 - Produção constante sem permissão de falta (utiliza-se horas extras)

Este plano é semelhante ao plano 3 com a diferença de, ao invés de utilizar a subcontratação, utiliza-se a mesma força de trabalho com horas extras para atender aos picos de demanda (**custo de horas extras**) - gráfico III.4.

Gráfico III.4 - Plano 4

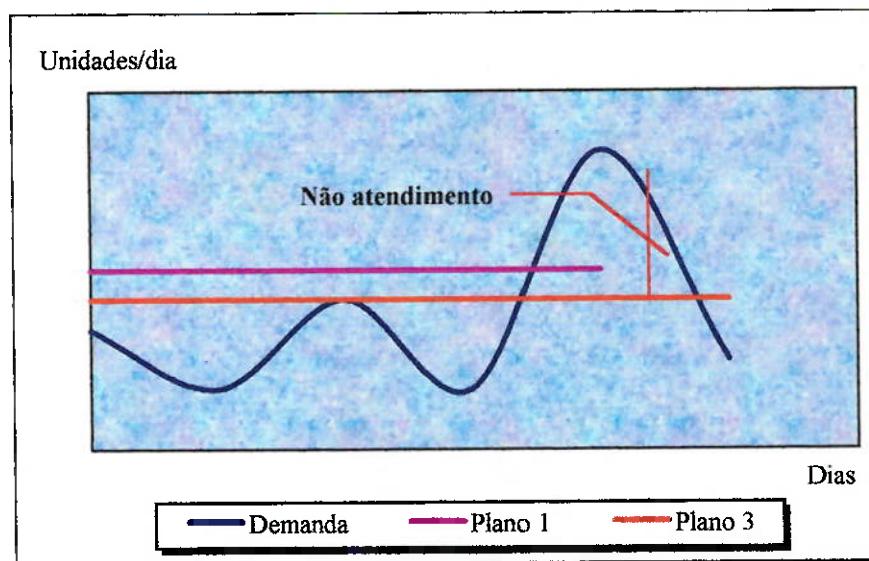




Plano 5 - Produção constante com permissão de falta.

Este plano possui um nível de produção como os planos 3 e 4, porém, permite a ocorrência de faltas de produto, ou seja, não incorre em custos de subcontratação e horas extras, mas incorre em **custo de não atendimento**.

Gráfico III.5 - Plano 5



De forma resumida, podemos examinar as variáveis de decisão de um plano de produção e seus custos associados, na tabela III.4, a seguir.

*Tabela III.4 - Variáveis de Decisão e seus Custos Associados*

Variáveis de Decisão	Custos associados
Estoque	Armazenagem (espaço físico, manuseio) Capital (imobilização do capital)
Atraso	Mau atendimento ao Cliente
Não Atendimento	Não atendimento (perda de vendas)
Admissão	Recrutamento Seleção Admissão Treinamento
Demissão	Demissão Imagem no mercado (intangível)
Horas extras	Horas extras (diretos e administrativos)
Ociosidade	Sub ocupação de mão de obra
Subcontratação	Custo adicional da produção ou mão de obra subcontratada. Controle da subcontratação

Sem a construção de um modelo de Planejamento Agregado, o gerenciamento da produção tende a se preocupar somente com a variável mais dominante da estrutura de custos da companhia. Logo, não chega-se numa solução otimizada quando outras variáveis de decisão também possuem custos associados.

Os modelos matemáticos fornecem diretamente os melhores planos de produção, conhecendo os parâmetros das variáveis de decisão a serem considerados, dentro de um horizonte de planejamento pré-definido



O horizonte de planejamento deve ser escolhido em função dos *lead-times* de compra e produção (o horizonte deve ser maior que estes tempos juntos), dos ciclos de sazonalidade da demanda, do período fiscal (para se planejar um nível de estoque baixo em determinadas datas), e da confiabilidade das estimativas de demanda. Este último faz com que o horizonte de planejamento seja muitas vezes reduzido por não se possuir uma boa estimativa dos períodos adiante, mas não pode-se desprezar os últimos períodos pelo fato de não enxergá-los bem.

3.2 Modelos de Planejamento Agregado

As aplicações de técnicas matemáticas para o planejamento agregado iniciou-se no pós Segunda Guerra Mundial, durante o grande movimento do gerenciamento científico da época. Os primeiros trabalhos surgidos foram no uso de técnicas matemáticas otimizantes, tal como cálculo diferencial e programação linear para resolver simplificados modelos de custo em planejamento agregado.

Como descrito no livro “Production-Inventory Systems Planning and Control”, de Buffa & Miller, “...a criação de modelos de decisão para planejamento agregado é uma arte que envolve uma cuidadosa harmonia entre o mundo real, o modelo, e a técnica de solução.”



Pode-se entender por “modelo” a abstração matemática simplificada do comportamento de um sistema real¹.

Deste modo, algumas considerações na escolha ou construção do modelo devem ser levadas em conta:

- Linear ou não linear
- Estático ou dinâmico
- Tempo de forma contínua ou discreta
- Valores contínuos ou discretos
- Determinísticos ou estocásticos

Alguns modelos de planejamento agregado são mostrados abaixo:

Os *modelos gráficos* são muito restritos pois trabalham com apenas duas variáveis de decisões, porém são bons para ter-se um entendimento do método de solução do problema.

Os modelos de *Programação Linear*, que se incluem nos modelos matemáticos de custo linear, são muito utilizados nos problemas de planejamento agregado, pois permite a inclusão de várias restrições, desde que lineares, e o uso de grande quantidade de incógnitas devido ao algoritmo de solução utilizado ser muito eficiente, o Simplex.

¹ Neto, Pedro Rodrigues Bueno - Modelos Matemáticos para PPCP



Os *modelos heurísticos e hierárquicos* pertencem à classe dos modelos em que as regras de decisão não garantem matematicamente uma solução ótima, porém, se forem inteligentemente modelados, poderão resultar em soluções muito boas.

4. Conclusão

Com base nestes conceitos gerais sobre planejamento da produção, foi definido que o *Planejamento Agregado da Produção* seria a melhor alternativa para o atendimento das necessidades atuais da companhia, em função do seu tipo de produção, e que o modelo de planejamento utilizado seria o Modelo Matemático Linear de Mínimo Custo.



CAPÍTULO IV -
OBTENÇÃO DOS DADOS PARA
O PLANEJAMENTO AGREGADO



1. Introdução

Informações referentes ao sistema de produção são de extrema importância para o seu planejamento. Dados sobre a demanda, produtos, centros de trabalhos, roteiros e operações, disponibilidades de recursos, entre outros, fornecem os subsídios necessários.

O nível de agregação destas informações é em função do nível de planejamento requerido. A tabela IV.1 mostra as diferenças nos níveis de agregação das informações.

Tabela IV.1 - Níveis de agregação das informações

Nível Agregado	Nível Detalhado
Famílias de produtos	Produtos
Centros produtivos de máquinas	Máquina
Centro produtivo humanos (grupo de pessoas com qualificações e atividades diferentes)	Centro produtivo humanos (grupo de pessoas com as mesmas qualificações e atividades)
Roteiro e tempos das famílias pelos centros.	Roteiro e tempos dos produtos pelas máquinas.
Demandas das famílias nos períodos	Demandas dos produtos nos períodos
Períodos grandes	Períodos pequenos

Fonte: Santoro, M.C., PPCPE - Informações para PPCPE, apostila 9/94

Será discutido, a seguir, a metodologia e quais dados foram coletados na empresa para a realização do planejamento agregado da produção. De modo geral, as informações foram colhidas diretamente do sistema integrado utilizado pela empresa, com a conversão de alguns dados do sistema *Unix* para o ambiente *PC*, utilizando-se *softwares* do tipo *FTP*. Tais informações foram analisadas em sistemas de bancos de dados, como o *MS-Access*, ou em planilhas eletrônicas do tipo *MS-Excel*.



2. Produtos

Como visto anteriormente no capítulo II, o elevador possui uma estrutura de produto relativamente grande devido às suas variações e combinações de componentes.

Os critérios adotados para formar as famílias de produtos foram sempre relativos ao seu processo de fabricação. A pergunta básica, portanto, para a formação das famílias foi: *Quais as classes de produtos que possuem, basicamente, os mesmos tempos de fabricação e passam pelos mesmos centros de trabalhos?*

Foram escolhidos, os elevadores do tipo estruturado, pois é a classe de elevadores mais significativa em termos de volume de produção, com aproximadamente 80% do volume, vide capítulo II e a figura IV.1 abaixo.

Figura IV.1 - Famílias de Produtos



Elaborado pelo autor



Porém, dentro da classe de elevadores estruturados existem os tipos Residenciais e Comerciais.

Para cada uma destas classes de elevadores, os residenciais e comerciais, os roteiros produtivos são basicamente os mesmos, ou seja, passam pelos mesmos centros de trabalhos e possuem os mesmos tempos de fabricação, exceto pelo maior diferencial entre eles, que está na variável **número de paradas** do elevador.

Esta característica do elevador é de grande importância, em termos de planejamento da produção, porque é, basicamente, em função dela que ocorrem os maiores diferenciais nos tempos de fabricação. Estão atreladas a esta característica a quantidade de portas a serem fabricadas; indiretamente, o tipo do conjunto de tração (quanto maior o número de paradas, mais potência é exigida da máquina de tração), entre outras.

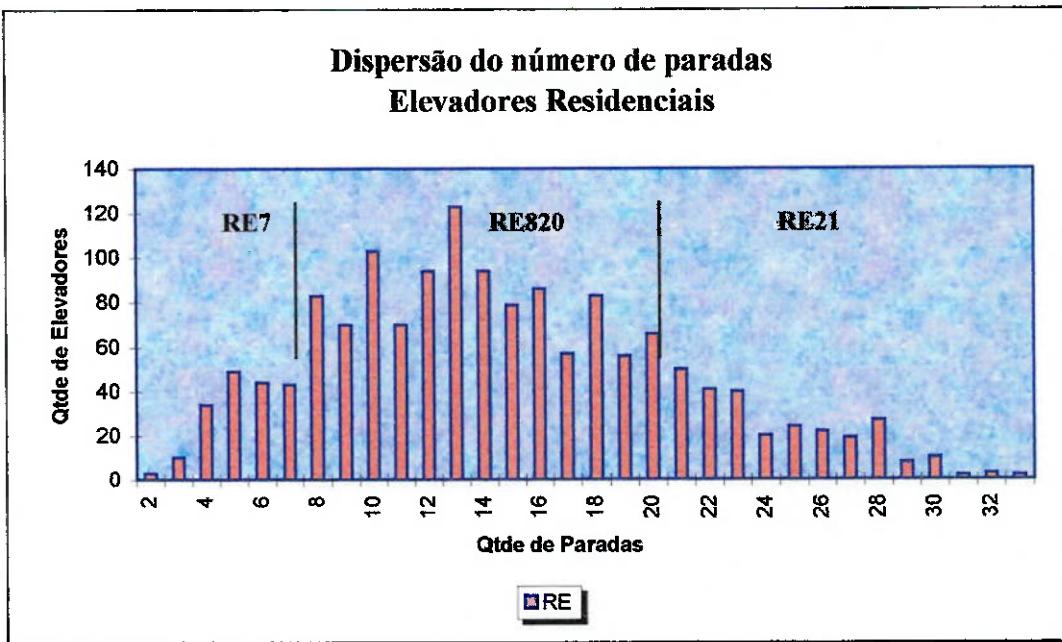
Existem muitos outros componentes que variam no elevador, mas a maioria deles não interferem na produção porque são componentes ou conjuntos comprados.

2.1 Famílias de Produtos para o Planejamento Agregado

Sendo o número de paradas do elevador uma variável significativa, as famílias de produto foram separadas de acordo com este critério. O gráfico IV.1 mostra os elevadores residenciais estruturados na carteira de pedidos dos próximos meses em função do número de paradas.



Gráfico IV.1 -Formação de Famílias - Residenciais Estruturados



Elaborado pelo autor

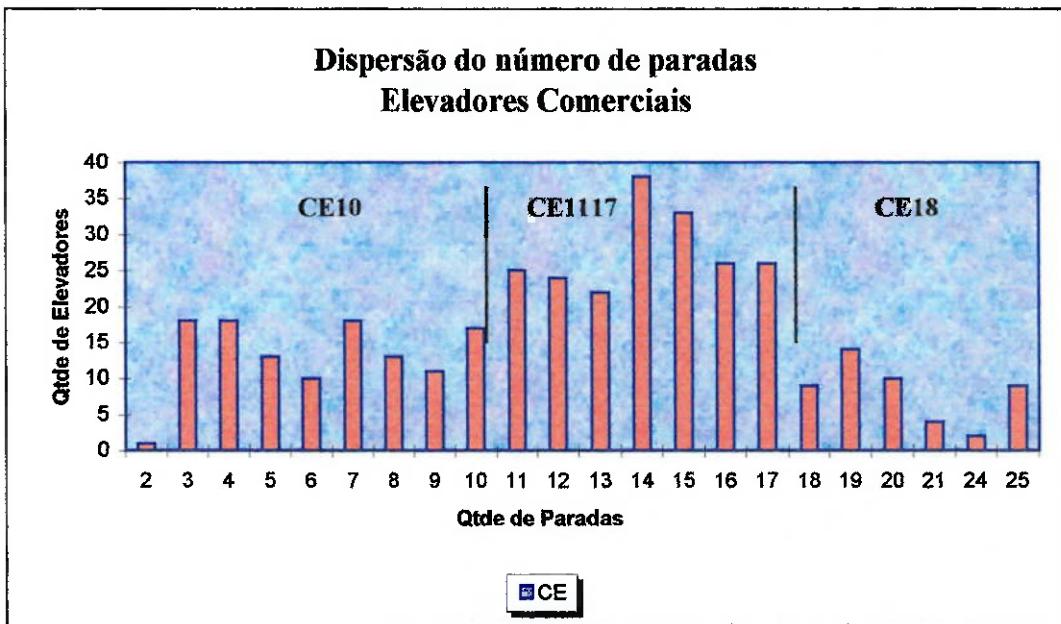
A partir da distribuição acima, esta família de elevadores foi dividida em três sub-famílias:

1. **RE7** - Elevadores residenciais estruturados de 2 à 7 paradas.
2. **RE820** - Elevadores residenciais estruturados de 8 à 20 paradas.
3. **RE21** - Elevadores residenciais estruturados de 21 ou mais paradas.

Da mesma maneira foram criadas famílias de elevadores para os do tipo Comerciais Estruturados. O próximo gráfico mostra o mesmo tipo de distribuição para esta classe de elevadores.



Gráfico IV.2 - Formação das Famílias - Comerciais Estruturados



Elaborado pelo autor

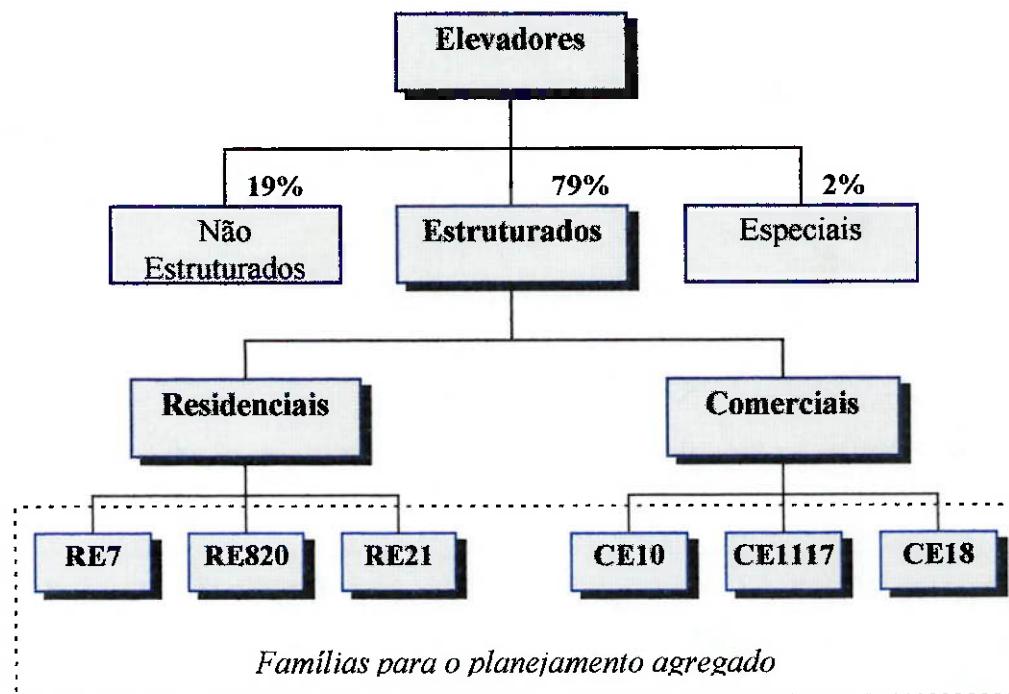
Assim, foram formadas as sub-famílias dos elevadores comerciais estruturados:

1. **CE10** - Elevadores comerciais estruturados de 2 à 10 paradas.
2. **CE1117** - Elevadores comerciais estruturados de 11 à 17 paradas.
3. **CE18** - Elevadores comerciais estruturados de 18 ou mais paradas.



As famílias para o planejamento agregado da produção ficaram, então, assim definidas:

Figura IV.2 - Famílias de elevadores



Elaborado pelo autor

2.2 Demanda

Sabendo-se quais as famílias de produtos a serem planejadas, é necessário conhecer as suas demandas em cada período de planejamento no horizonte desejado.

No capítulo II, foi visto que o prazo mínimo de entrega que o mercado de elevadores exige é de seis meses, com uma média de doze ou treze meses.



Desta forma, a demanda dos próximos seis meses é firme, isto é, não entra nenhum pedido com data de entrega menor que seis meses. Assim, a composição atual da carteira de pedidos para os próximos seis meses é a própria demanda, sem a necessidade de uma previsão de vendas para este horizonte.

A previsão de vendas é feita, portanto, a partir do sétimo mês, e mesmo assim com quantidades pequenas previstas até o décimo segundo mês, pelo simples motivo de que a maioria das vendas, neste horizonte de doze meses, já foi realizada.

2.2.1 Obtenção dos Dados de Demanda

A base de dados do sistema utilizado pela empresa não é aberta, isto é, não é possível analisar ou manipular os dados com ferramentas externas porque o sistema possui a sua própria linguagem de programação.

Assim sendo, as informações foram coletadas através de relatórios do sistema, sendo eles convertidos em arquivos do tipo texto, formando-se, então, tabelas de dados no banco de dado *Microsoft Access*, onde foi possível realizar as manipulações necessárias para a retirada de informações no formato desejado.



Como cada produto vendido na empresa vira um projeto, os dados principais coletados foram atributos do projeto tais como:

- Mês de fabricação
- Tipo do elevador (define se é do tipo estruturado ou não)
- Quantidade de paradas
- Custo de material
- e várias outras características técnicas

Foi trabalhado uma base de dados com mais de 2300 elevadores vendidos e suas características. Uma pequena amostra de uma das tabelas utilizadas nesta análise é mostrada abaixo.

Tela do Banco de Dados - Tabela de Dados

The screenshot shows a Microsoft Access window titled "Microsoft Access - [int98 : Tabela]". The menu bar includes Arquivo, Editar, Exibir, Inserir, Formatar, Registros, Ferramentas, Janelas, Ajuda, and a Help button. The toolbar includes icons for New, Open, Save, Print, Find, Replace, Sort Ascending, Sort Descending, Insert, Delete, Undo, Redo, and Help. The table has 11 columns with the following headers: Tipo, Mês, VELOC, NPESS, NPAR, COMANDO, LINHA, ACPTPAV1, ACPACA, and TPTPV. The data consists of 2324 rows of elevator specifications. The last visible row shows: RE, 9803, 90, 8, 26 EXBD, VVVF, FREJO, INOX, EV. The status bar at the bottom left shows "Registro: 1 de 2324" and "Modo folha de dados". The status bar at the bottom right shows "NUM".

Tipo	Mês	VELOC	NPESS	NPAR	COMANDO	LINHA	ACPTPAV1	ACPACA	TPTPV
CE	9807	105	9	16	EXBB	VVVF	DUCO	INOX	CENTRAL
CE	9811	80	8	8	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RE	9808	45	6	13	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RD	9811	90	14	21	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	CENTRAL
RE	9809	75	8	15	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RE	9809	75	8	15	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RE	9809	75	8	15	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RE	9809	75	8	15	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RE	9803	45	6	13	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RE	9808	45	6	13	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RD	9803	90	14	29	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	CENTRAL
RE	9806	75	9	19	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	EV
RE	9807	90	10	21	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RE	9807	90	10	21	EXBD	VVVF	DUCO	INOX	2FLS
RE	9803	45	6	13	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS
RE	9806	60	24	5	EXBB	VVVF	FORM	INOX	CENTRAL
RC	9806	75	8	20	EXBD	VVVF	FORM	FORM	EV
RE	9803	45	8	3	EXBB	VVVF	FORM	FORM	2FLS
RE	9806	60	24	6	EXBB	VVVF	FORM	INOX	CENTRAL
RE	9802	60	7	9	EXBD	VVVF	FORM	INOX	EV
RE	9803	75	9	21	EXBD	VVVF	FREJO	INOX	EV
RE	9802	120	8	28	EXBD	VFVC	FREJO	INOX	EV
RE	9803	60	8	14	EXBD	VVVF	FREJO	LM3	EV
RE	9803	90	8	26	EXBD	VVVF	FREJO	INOX	EV
RE	9804	90	8	25	EXBD	VVVF	FREJO	INOX	EV
RE	9803	90	8	26	EXBD	VVVF	FREJO	INOX	EV

Elaborado pelo autor



É importante ressaltar que estes dados não foram históricos, foram dados de elevadores a serem fabricados, que estavam na carteira de pedidos.

Para o planejamento agregado, como o próprio nome sugere, não interessa a visão detalhada dos produtos, e sim uma visão de forma agregada. Esta visão agregada foi refletida na formação das famílias conforme discutido no tópico 2.1 deste capítulo, ou seja, os elevadores foram agrupados de acordo com sua família, residencial ou comercial (elevadores do tipo RE ou CE da tabela) e também em função do número de paradas.

Na tabela original do banco de dados foi criado um campo “Família” que foi atualizada de acordo com a sua classificação, ou seja, família RE820 para todos os elevadores do tipo RE com número de paradas de 8 a 20, e assim por diante. Todos os elevadores que não se enquadram em uma das seis famílias definidas para o planejamento agregado recebiam o texto “não estrut”.

*Tela do Banco de Dados - Tabela de Dados com o Acréscimo das Famílias*

Tipo	Mês	VELOC	NPESS	NPAR	COMANDO	LINHA	ACPYPAV1	ACPACA	TPTPV	Família
CE	9807	105	9	16	EXBB	VVVF	DUCO	INOX	CENTRAL	CE1117
CE	9811	60	8	8	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	CE10
RE	9808	45	6	13	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	RE820
RD	9811	90	14	21	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	CENTRAL	nao estrut
RE	9809	75	8	15	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	RE820
RE	9809	75	8	15	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	RE820
RE	9809	75	8	15	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	RE820
RE	9808	75	8	15	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	RE820
RE	9803	45	6	13	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	RE820
RE	9808	45	6	13	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	RE820
RD	9803	90	14	29	EXBB	VVVF	DUCO	FORM	CENTRAL	nao estrut
RE	9806	75	9	19	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	EV	RE820
RE	9807	90	10	21	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	RE21
RE	9807	90	10	21	EXBD	VVVF	DUCO	INOX	2FLS	RE21
RE	9803	45	6	13	EXBD	VVVF	DUCO	FORM	2FLS	RE820
RE	9806	60	24	5	EXBB	VVVF	FORM	INOX	CENTRAL	RE7
RC	9806	75	8	20	EXBD	VVVF	FORM	FORM	EV	nao estrut
RE	9803	45	8	3	EXBB	VVVF	FORM	FORM	2FLS	RE7
RE	9806	60	24	6	EXBB	VVVF	FORM	INOX	CENTRAL	RE7
RE	9802	60	7	9	EXBD	VVVF	FORM	INOX	EV	RE820
RE	9803	75	9	21	EXBD	VVVF	FREJO	INOX	EV	RE21
RE	9802	120	8	28	EXBD	VFVC	FREJO	INOX	EV	RE21
RE	9803	60	8	14	EXBD	VVVF	FREJO	LM3	EV	RE820
RE	9803	90	8	26	EXBD	VVVF	FREJO	INOX	EV	RE21
RE	9804	90	8	25	EXBD	VVVF	FREJO	INOX	EV	RE21
RE	9803	90	8	26	EXBD	VVVF	FREJO	INOX	EV	RE21

Elaborado pelo autor

Com as famílias definidas, foi criado uma consulta de referência cruzada no Access, gerando uma tabela do resumo das quantidades necessárias a serem fabricadas, por família, para os próximos doze meses, isto é, a demanda por família nos próximos períodos de planejamento. A próxima tela mostra o resultado.

*Tela do Bando de Dados - Demanda das Famílias por Período*

The screenshot shows a Microsoft Access window titled "Microsoft Access - [int98_Tabela de Referência Cruzada1 : Consulta de tabela de referência]". The window contains a grid of data with 12 columns labeled 9710 through 9809. The first column is labeled "Família". The data includes several rows with family codes like CE10, CE1117, CE18, RE21, RE7, and RE820, along with numerical values in each column. The bottom of the window shows navigation controls for the record number (Registro: 1 de 6) and a status bar indicating "Modo Folha de dados".

Família	9710	9711	9712	9801	9802	9803	9804	9805	9806	9807	9808	9809
CE10	13	18	15	23	12	10	5	5	8	2	2	
CE1117	18	5	22	11	10	18	18	8	32	23	5	
CE18	6		1	3	1	2	6	5	9	4		5
RE21	17	6	15	15	24	36	22	27	25	15	9	21
RE7	18	20	16	22	16	13	14	12	14	12	8	4
RE820	83	95	102	103	97	81	62	71	83	75	47	59

Elaborado pelo autor

Com esta tabela, que possui dados de demanda firme nos seis primeiros meses (períodos), já é possível a visualização do nível de produção requerido para o pleno atendimento das necessidades dos clientes. Porém, este não é um plano de produção definitivo porque, sem uma análise das disponibilidades dos centro de trabalho, não é possível saber se a demanda será atendida ou não.

Um plano de produção sugerido através de um planejamento agregado dá como resposta uma tabela semelhante a esta, porém, sinaliza um nível de atraso ou de estoque em cada período, de modo que os custos sejam minimizados.



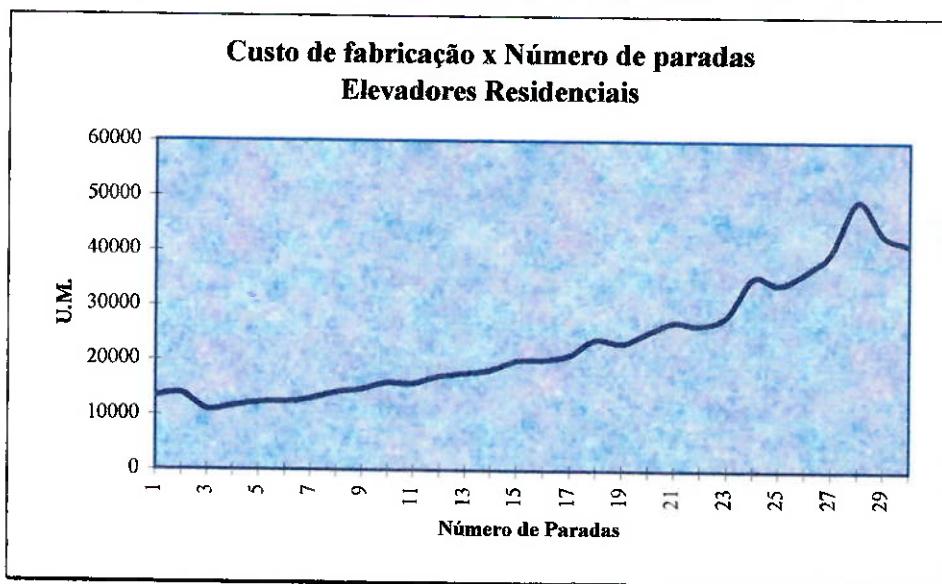
2.3 Custo Unitário de Produção

O custo de produção de cada uma das famílias do planejamento agregado foi obtido junto ao departamento de custos da companhia. O custo variável de fabricação do elevador é muito relacionado com o seu número de paradas, onde variam muito a quantidade de portas, batentes de portas, botoeiras, cabos de aço e de comando eletrônico, guias do elevador, etc., em função da altura da edificação.

Nestes custo não estão inclusos os custos de mão de obra direta, pois estes serão relacionados ao tempo de fabricação de cada família nos seus respectivos centros de trabalhos.

O gráfico IV.3 mostra o acréscimo de custo de fabricação em função do número de paradas dos elevadores residenciais.

Gráfico IV.3 - Evolução do custo de fabricação dos Residenciais



Elaborado pelo autor



Os custos unitários de produção obtidos para cada família foram:

Família	Custo unitário (U.M.)
RE7	11.900
RE820	17.400
RE21	28.600
CE10	17.800
CE1117	26.500
CE18	36.300

Elaborado pelo autor

3. Centros de Trabalhos

Foram utilizados quinze sub-centros de trabalho para representar os três centros principais (máquinas, eletrônicos e cabinas & portas). A divisão foi feita de acordo com as características dos produtos que são fabricados ou montados em cada um deles.

Muito embora existam centros de trabalhos que consumam Horas Máquinas, foi feita, somente, a consideração em Homens-Hora. Esta consideração deu-se porque o fator limitante de capacidade em todos os centros de trabalho eram humanos e não de equipamentos.

As estimativas das disponibilidades de tempo para trabalho nos períodos mensais de planejamento foram fornecidas pelo departamento *de engenharia de processo*, área responsável pelos roteiros e tempos de operação, e sempre dado em disponibilidade normal, ou seja, é o tempo que realmente pode-se utilizar do centro de trabalho.



Para tanto, estão descontadas as paradas inerentes ao processo (falta de energia, quebras, etc.), as paradas por causas evitáveis como falta de mão de obra, falta de matéria prima, greves, etc.

3.1 Definição dos Centros de Trabalho

O centro de produção da máquina do elevador foi dividida em seis sub-centros como segue:

1. Centro RD1 - Usinagem

É um centro composto por máquinas operatrizes do tipo tornos convencionais e CNC (de controle numérico computadorizado), fresadoras, centro de usinagem computadorizado, etc. São produzidos nestes centros os componentes do conjunto máquina do elevador como os conjuntos de engrenagens, usinagem da caixa da máquina, etc.

2. Centro RD2 - Montagem da máquina A

Este é um centro de montagem do conjunto máquina A, uma máquina mais simples que é utilizada em elevadores que não exigem muita potência do motor. Este centro possui um total de sete operários diretos que executam a montagem

3. Centro RD3 - Montagem da máquina B e C

É semelhante ao centro RD2, porém esta é uma linha de montagem dedicada às máquinas tipos A e B. São máquinas maiores e que exigem um maior tempo de montagem. São mais utilizados nos elevadores comerciais com número de paradas elevado.



4. Centro RD4 - Fabricação dos limitadores

Este centro de trabalho fabrica o Limitador de velocidade. É um dispositivo mecânico que faz parte da segurança do elevador.

5. Centro RD5 - Montagem de operadores de portas

É uma área de montagem de alguns componentes do mecanismo de abertura/fechamento da porta da cabina do elevador. São apenas dois funcionários neste centro de trabalho.

6. RD6 - Corte de cabos de aço

É um sub-centro de trabalho responsável pelo corte de cabos de aço. O tempo de execução desta atividade varia de acordo com o número de paradas desejadas pelo cliente.

Os sub-centros de trabalhos referentes à mini-fábrica de Armários de comando eletrônicos são:

- 1. Centro MC1 - Montagem do armário de comando*
- 2. Centro MC2 - Montagem da batoeira da cabina*
- 3. Centro MC3 - Montagem das batoeiras de pavimento*
- 4. Centro MC4 - Montagem dos limites*
- 5. Centro MC5 - Montagem do visor*

Todos os centros de trabalhos acima são formados por linhas de montagens de produção dos componentes citados.



E por último, a mini-fábrica de cabina e portas foi dividida em quatro sub-centros.

1. *Centro CP1 - Fabricação da Cabina*
2. *Centro CP2 - Fabricação das Portas*
3. *Centro CP3 - Fabricação dos dispositivos de segurança*
4. *Centro CP4 - Fabricação de Plataformas e Tetos*

3.2 Custo das horas

Os custos do consumo de horas dos centros de trabalhos foram disponíveis para os três centros principais e fornecidos em horas-homem. A partir destes custos, foi considerado uma sobretaxa de 50% sobre o valor da hora normal como sendo o valor da hora extra.

O valor da hora ociosa foi considerado o mesmo da hora extra, porque, independentemente de estar-se produzindo ou não, o custo hora-homem está sendo incorrido, porém sem agregar valor ao produto.

A limitação de horas extras sobre as horas disponíveis é de 25%.



4. Dados de Produtos e Centros

O conjunto dos centros de trabalho e produtos possuem atributos como roteiros, tempos de preparação de máquinas, consumos das disponibilidades das operações, e outros, que devem ser conhecidos para o planejamento da produção.

No próximo tópico, serão apresentados as disponibilidades de cada um dos centros de trabalhos, além dos consumos que cada uma das famílias necessita para a sua produção nos mesmos centros.

É importante ressaltar que os tempos considerados nas operações, foram sempre os *tempos reais médio*, isto é, o tempo padrão dividido pelo índice de eficiência.



4.1 Consumo das famílias pelos centros

A tabela IV.2 sintetiza os centros de trabalhos utilizados com os dados de consumo de tempo das famílias, além das disponibilidades de recurso em horas.

Tabela IV.2 - Consumo (em horas) das famílias por centros de trabalhos

Centro de Trabalho	RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18	Disponibilidade Normal (h)
RDI	14,1	14,3	17,3	14,9	19,6	30,5	2600
RD2	6,0	6,0	4,9	5,7	4,6	2,3	835
RD3	-	0,1	3,4	0,9	4,6	12,3	196
RD4	2,31	2,31	2,31	8,70	8,70	8,70	594
RD5	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	280
RD6	1,80	2,20	2,40	2,00	2,20	2,50	340
MC1	16,3	16,3	16,6	16,1	16,1	17,1	2300
MC2	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	1000
MC3	0,27	0,71	1,24	0,33	0,68	1,08	108
MC4	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	330
MC5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	15
CP1	6,8	7,2	6,2	4,4	4,4	4,5	1050
CP2	8,9	22,3	44,7	13,8	30,3	50,1	3120
CP3	3,63	3,63	3,63	4,05	4,05	4,05	590
CP4	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	754

Elaborado pelo autor



A tabela de tempos obtida junta à área de engenharia de processos mostrava os tempos dos componentes fabricados ou montados, e não das famílias dos elevadores como definidas neste trabalho. Os tempos mostrados eram, por exemplo, dos seguintes componentes:

- Máquina tipo A, B ou C
- Cabina A ou B
- Armários de comando eletrônico A, B, C ou D
- Portas A, B, C ou D
- etc.

Os tempos para cada família e centros de trabalhos foram, então, determinados, a partir de uma análise dos componentes que formavam os 2300 elevadores a serem entregues nos próximos períodos, separados de acordo com as famílias. Foi utilizado para esta análise o mesmo banco de dados mostrado no item 2.2.1 deste capítulo.

As tabelas a seguir indicam a porcentagem de utilização dos componentes em função das famílias de produtos. Por exemplo, dos elevadores da família CE1117 que ainda serão produzidos, 76% utilizam a máquina A; 11% utilizam a máquina B; e 13% utilizam a máquina C.

Com o tempo de usinagem de cada máquina, obtém-se um tempo ponderado de consumo, que para a família CE1117 é de 19,6 horas de usinagem no centro RD1.



Tabela IV.3 - Centro RD1 - Usinagem

Tipo de Máquina	Tempo usinagem	Porcentagem de utilização das máquinas					
		RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Máquina A	14,1	100%	99%	81%	95%	76%	37%
Máquina B	31,7	0	0,5%	18%	5%	11%	10%
Máquina C	42,0	0	0,5%	1%	0	13%	53%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%
Consumo do centro RD1(h)		14,1	14,3	17,3	14,9	19,6	30,5

Elaborado pelo autor

Tabela IV.4 - Centro RD2 - Montagem da Máquina A

Tipo de Máquina	Tempo montag.	Porcentagem de utilização da máquina A					
		RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Máquina A	6,0	100%	99%	81%	95%	76%	37%
Consumo do centro RD2(h)		6,0	6,0	4,9	5,7	4,6	2,3

Elaborado pelo autor

Tabela IV.5 - Centro RD3 - Montagem das Máquinas A e B

Tipo de Máquina	Tempo montag.	Porcentagem de utilização das máquinas A/B					
		RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Máquina B	18,0	0	0,5%	18%	5%	11%	10%
Máquina C	20,0	0	0,5%	1%	0	13%	53%
Consumo do centro RD3(h)		-	0,1	3,4	0,9	4,6	12,3

Elaborado pelo autor

De forma análoga foram feitas as composições para outros centros de trabalhos. As tabelas explicativas referentes aos outros centros de trabalho encontram-se no anexo I.



4.2 Custos de Armazenagem e Atrasos

Os dados dos custos de armazenagem e de atrasos foram levantados para um produto acabado pertencente a uma das seis famílias num período de um mês.

Armazenagem

Os dados deste custo mensal foi fornecido pelo departamento de custos da empresa, que é formado pela ocupação (em m^2) do elevador multiplicado pelo valor do metro quadrado.

Este valor, basicamente, se altera devido às quantidades de portas e batentes necessários para cada elevador.

Tabela IV. 6 - de Custos de Armazenagens em Unidade Monetária

Família	Custo de armazenagem
RE7	150 U.M.
RE820	190 U.M
RE21	240 U.M.
CE10	150 U.M.
CE1117	190 U.M.
CE18	220 U.M.

Elaborado pelo autor

Atraso

Uma das estratégias da empresa é de não incorrer em atrasos de produtos para os Clientes, portanto o custo de atraso foi definido com um valor alto de tal maneira a torná-lo quase que proibitivo o uso por parte do modelo matemático.



5. Estoques e Atrasos iniciais

No início do primeiro período de planejamento, os estoques e atrasos dos elevadores fabricados de forma repetitiva estavam conforme mostrados abaixo:

Tabela IV.7 - Atrasos e Faltas iniciais

Família	Estoque inicial	Atrasos iniciais
RE7	0	1
RE820	0	5
RE21	0	1
CE10	0	2
CE1117	0	4
CE18	0	2

Elaborado pelo autor

6. Comentários

A forma de obtenção dos dados mostrados neste capítulo, principalmente os relacionados com a demanda, estão sistematizados e fáceis de obter devido à metodologia aplicada e ao uso do sistema em banco de dados desenvolvido.

Desta maneira, a atualização dos dados para uma utilização mensal no plano agregado de produção é perfeitamente factível.



*CAPÍTULO V -
DESENVOLVIMENTO DO
MÓDELO MATEMÁTICO*



1. Introdução

O modelo matemático utilizado no planejamento agregado da produção desta indústria de elevadores foi o de *custo linear*. A escolha deste modelo deu-se porque é relativamente simples de se modelar e atende às principais variáveis de decisões que o gerenciamento da produção necessita, além de ser factível a sua utilização de maneira sistemática na empresa. O software utilizado para a resolução do modelo matemático foi o do *LINDO SYSTEMS' What's Best!*.

Este software possui a vantagem de resolver problemas lineares, não lineares e inteiros num ambiente de planilhas eletrônicas tradicionais, tais como o *Excel* e *Lotus for windows*, utilizando as próprias equações das planilhas.

Outra vantagem, sobre o *Solver* do *Excel*, por exemplo, é a grande capacidade de variáveis de decisão e equações de restrições suportadas. No modelo realizado, o *Solver* não foi capaz de resolvê-lo devido ao excesso de células ajustáveis do modelo.



2. Modelo Matemático de Custo Linear

O modelo matemático de custo linear considera de forma fácil a maioria das variáveis de decisões e seus custos associados discutidos no capítulo III. Uma exemplificação genérica do modelo é mostrado a seguir.

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

sujeito à:

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

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

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

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

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

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

Além das restrições de não negatividade das variáveis de decisão.

Sendo necessário o apontamento inicial dos níveis de estoque, atrasos e disponibilidade no instante $t=0$.



Onde:

i = índice de produtos $(i=1\dots I)$

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

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

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

Hh = homens hora

Hm = horas máquina

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

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

EST_{it} = estoque previsto de i no final de t

FAL_{it} = falta prevista de i no final de 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 de 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

IEF_{ic} = índice de eficiência de produção de i em c

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

e_{it} = custo unitário de armazenagem de uma unidade 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



3. Implementação do Modelo no Software

Com base nos dados coletados e apresentados no capítulo IV, foi feita a implementação do modelo no *Excel*. A forma com que a planilha de dados¹ foi disposta segue o *lay-out* sugerido pelo professor Santoro.

Assim, os dados necessários foram todos dispostos conforme mostra a tela abaixo:

Tela do Microsoft Excel - Dados para o modelo de planejamento

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "Microsoft Excel - planag3.xls". The spreadsheet contains several tables and a Solver dialog box.

Tables and Data:

- Centro de Trabalho:** A table with columns for Productos (PIE7, PIE20, PIE21, CE10, CE11, CE18) and Custo das horas (norm, ociosas, extra). It includes rows for CP2, CP3, CP4, R01, R02, R03, R04, R05, R06, R07, R08, R09, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, and R17.
- mi:** A row with values 12, 17, 29, 18, 27, 36.
- ei:** A row with values 0.15, 0.19, 0.24, 0.15, 0.19, 0.22.
- II:** A row with values 1000, 1000, 1000, 1000, 1000, 1000.
- ESTrio:** A row with values 0, 0, 0, 0, 0, 0.
- ATRlio:** A row with values 1, 5, 1, 2, 4, 2.
- PVEit:** A table with columns for Carteira de pedidos (t1, t2, t3, t4, t5, t6).

Solver Dialog Box:

The Solver dialog box is open, showing the following settings:

- Objective:** \$D\$30 (Minimize)
- OK** button
- Cancel** button
- Help** button

Decision Variables:

F01	0	Custo de produção
F02	0	Custo de Estoque
F03	0	Custo de Atraso
F04	0	Custo da hora normal
F05	0	Custo da hora extra
F06	0	Custo da hora ociosa

Min: Min soma das F01 a F06

Elaborado pelo autor

¹ Para fins deste trabalho não foram considerados os custos de admissão e de demissão de horas.



A tela também mostra a função objetivo¹ que está desmembrada em seis expressões a serem minimizadas.

1. Custo de produção
2. Custo de Estoque
3. Custo de Atraso
4. Custo de utilização de horas normais
5. Custo de utilização de horas extras
6. Custo das horas ociosas

Portanto, a função objetivo de mínimo custo é a soma de todas as parcelas acima.

Parte das variáveis de decisão e equações de restrições do modelo implantado foram definidas na planilha conforme a próxima tela (continuação da tela anterior).

¹ Os dados de custo da função objetivo estão divididos por 1000.



Tela do Microsoft Excel - Planilha Solução

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "Planilha Solução". The spreadsheet contains data for products RE7, RE820, RE21, CE10, CE1117, and CE18 across six time periods (t=1 to t=6). It includes columns for initial stock (Estog. Inicial), lead time (Atraso), and production (PRO). The Solver dialog box is open, showing options like "Adjustable Cells", "Best", "Constrain", and "Solve". The "Solve" button is highlighted. The status bar at the bottom indicates "Solve the current model".

As células em azul são as variáveis de decisão (células variáveis definidas no *What's Best!*) e as células das colunas K e M são, respectivamente, os lados esquerdos e direitos das equações de restrições (LHS e RHS).

Com todos os dados alimentados na planilha, foi utilizado o modo *Solve* do software que encontrou uma solução ótima, atendendo às 306 restrições impostas ao modelo, como mostrado no relatório de resultado a seguir.

*Tela do Microsoft Excel - Relatório de resultados*

The screenshot shows a Microsoft Excel window titled "Microsoft Excel - Wben.prm". The menu bar includes Arquivo, Editar, Exibir, Inserir, Formatar, Ferramentas, Dados, Janela, and WB! 1. The toolbar has various icons for file operations, cell selection, and data analysis. The main area displays a solver report:

CLASSIFICATION STATISTICS	Current	Maximum
Numeric	1688	64000
Instructions	7511	
Adjustable	378	
Integers	0	
Optimizable	1131	16000
Formulas	753	8000
Nonlinear	0	
Coefficients	2724	

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:
0.25700000E-01 3120.0000

The smallest coefficient occurred in constraint cell: O26
on optimizable cell: T63

The largest coefficient occurred in constraint cell: L193
on optimizable cell: RHS

Tries: 312 Infeasibility: 0 Objective: 25564.21

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.
End of file.

WBERR / Pronto | Soma=0 | NUM

Como pode-se verificar no relatório acima, o tipo do modelo analisado foi dado como “Linear” e o *Status* da solução “Globalmente Otimizado”, mostrando a aderência do resultado.

Os dados das equações de restrições e demais resultados estão no anexo II.



*CAPÍTULO VI -
RESULTADOS E ANÁLISES*



1. Resultados

A planilha de resultado proveniente do modelo apresentado anteriormente fornece a quantidade a ser produzida, de cada família de produto, em cada um dos seis períodos propostos para o planejamento, sugerindo uma antecipação de produção (estoques) ou atrasos. Além disso, ela fornece o consumo de horas normais, extras e o nível de ociosidade em cada um dos quinze centros de trabalho nos respectivos períodos.

O resultado¹ completo está mostrado na próxima página.

¹ Os valores apresentados na planilha solução estão todos arredondados.



Planilha Solução

Producto	Estoque inicial	Atraso inicial	t=1			t=2			t=3			t=4			t=5			t=6			
			PRO	DEM	EST																
RE7	0	1	19	18	0	27	20	7	0	18	16	8	0	14	22	0	16	16	0	13	13
RE820	0	5	88	83	0	95	95	0	0	102	102	0	0	103	103	0	97	97	0	81	81
RE21	0	1	18	17	0	6	6	0	0	15	15	0	0	17	15	2	25	24	4	0	36
CE10	0	2	15	13	0	25	18	7	0	10	15	2	0	21	23	0	12	12	0	10	10
CE1117	0	4	22	18	0	5	5	0	0	22	22	0	0	11	11	0	10	10	0	18	18
CE16	0	2	4	6	0	4	4	0	0	0	1	1	0	0	3	3	0	3	1	2	0



2. Análises da Situação Atual

De acordo com as estratégias da empresa, podemos analisar os resultados do plano de produção de diversas formas. Pode-se verificar os níveis produção, estoque e atrasos em cada período e, principalmente, se os níveis de utilização dos centros de trabalho estão平衡ados e adequados.

Outro subsídio fornecido por este modelo de planejamento são os custos associados às variáveis de decisão. Os resultados dos mínimos custos para o atendimento do plano semestral foram os seguintes:

Tabela VI.1 - Resultado dos mínimos custos

FO1	18902 Custo de produção
FO2	5 Custo de Estoque
FO3	4003 Custo de Atraso
FO4	2273 Custo da hora normal
FO5	336 Custo da hora extra
FO6	44 Custo da hora ociosa
Min :	25564 Min soma das FO1 a FO6

Uma forma mais simples de se analisar é examinar de forma separada os níveis de produção, estoque, atrasos e horas, no período de planejamento.



2.1 Produção e Atraso

Tabela VI.2 - Níveis de Produção e Atrasos

Família	Produção						Atraso
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	
RE7	19	27	18	14	16	13	0
RE820	88	95	102	103	97	81	0
RE21	18	6	15	17	25	32	0
CE10	15	25	10	21	12	10	0
CE1117	22	5	22	11	10	18	0
CE18	4	4	1	3	3	0	4
Total	166	162	167	169	163	154	0

Os níveis de produção do plano atende de forma muito adequada a demanda do período. Porém, mesmo com um custo elevado de atraso, ocorre uma falta de quatro elevadores da família CE18 no primeiro período.

Esta falta ocorre porque o produto da família CE18 consome muita disponibilidade do centro RD3, como visto na tabela de consumos IV.2 do capítulo IV, gerando um excesso de carga de trabalho neste centro que já está no limite de sua capacidade, vide tabela VI.4 de consumo de horas extras.

Outra explicação deste atraso é decorrente de um não planejamento da produção que visualizasse a demanda futura e fizesse a análise da carga de trabalho nos centros de trabalhos.

Já esperava-se uma certa “turbulência” nos primeiros períodos do planejamento, porque o estado inicial do sistema já contava com alguns atrasos. Atrasos estes que não mais ocorreriam nos próximos seis meses.



2.2 Estoque ou Antecipação da Produção

Tabela VI.3 - Quantidades Antecipadas

Família	Estoque					
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
RE7	0	7	8	0	0	0
RE820	0	0	0	0	0	0
RE21	0	0	0	2	4	0
CE10	0	7	2	0	0	0
CE1117	0	0	0	0	0	0
CE18	0	0	0	0	2	0
Total	0	14	10	2	6	0

Por haver uma penalização muito alta em atrasos de fabricação, o modelo sugere algumas antecipações de produção como mostrado na tabela VI.3 acima.

A quantidade extra a ser produzida além da quantidade demandada no mês corrente é uma antecipação de fabricação que pode ocorrer, pois é um elevador que já foi vendido e, portanto, está na carteira de pedido. Sendo um elevador que possui todas as características definidas para a sua fabricação.

Esta tabela de antecipações mostra um dos dados mais importantes sugeridos pelo modelo. A importância dada às informações de antecipações é devido ao fato do modelo analisar as capacidade dos centros dos próximos períodos.



2.3 Horas Normais, Ocioosas e Extras

Tabela VI.4 - Consumo de Horas Normais, Ocioosas e Extras

Hora Normal								Hora Ocioosa						
Centro	Dispon.	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	Centro	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
CP2	3120	3120	3120	3120	3120	3120	3120	CP2	0	0	0	0	0	0
CP3	590	590	590	590	590	590	572	CP3	0	0	0	0	0	18
CP4	754	754	754	754	754	754	727	CP4	0	0	0	0	0	27
RD1	2600	2600	2432	2568	2584	2514	2403	RD1	0	168	32	16	86	197
RD2	835	835	835	835	835	835	835	RD2	0	0	0	0	0	0
RD3	196	196	126	185	177	191	196	RD3	0	70	11	19	5	0
RD4	594	594	594	594	594	537	536	RD4	0	0	0	0	57	58
RD5	280	257	251	259	262	253	239	RD5	23	29	21	18	27	41
RD6	340	340	340	340	340	339	RD6	0	0	0	0	0	1	
MC1	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	MC1	0	0	0	0	0	0
MC2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	MC2	0	0	0	0	0	0
MC3	108	108	98	108	108	108	108	MC3	0	10	0	0	0	0
MC4	330	330	330	330	330	330	330	MC4	0	0	0	0	0	0
MC5	15	15	15	15	15	15	15	MC5	0	0	0	0	0	0
CP1	1050	1050	1050	1050	1050	1050	992	CP1	0	0	0	0	0	58
Total	14112	14089	13836	14048	14059	13937	13712	Total	23	276	64	53	175	400

Hora Extra							
Centro	Dispon.	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
CP2	936	891	207	832	848	936	936
CP3	118	30	12	30	39	13	0
CP4	151	28	9	33	43	15	0
RD1	520	12	0	0	0	0	0
RD2	167	86	97	109	123	83	23
RD3	39	39	0	0	0	0	16
RD4	119	52	0	0	21	0	0
RD5	56	0	0	0	0	0	0
RD6	68	19	3	22	27	16	0
MC1	460	408	341	425	460	368	222
MC2	200	79	53	87	99	61	4
MC3	22	6	0	7	8	11	9
MC4	66	32	23	34	39	26	7
MC5	3	2	1	2	2	1	0
CP1	210	1	0	36	43	20	0
Total	3134	1685	747	1618	1752	1552	1217

Os resultados dos consumos de horas normais para o cumprimento do plano de produção, mostram que o nível de ociosidade seria relativamente baixo. Em contrapartida, o nível de horas extras a serem apropriadas seria elevado.

Estes resultados mostram que a atual capacidade, ou disponibilidade, de alguns centros de trabalho como o MC1, CP2 ou RD2, estão quase no limite devido à grande necessidade de utilização de horas extras para o cumprimento do plano de produção.



As células em amarelo, são referentes aos centros de trabalho com previsão de plena utilização no período, ou seja, são centros de trabalhos “gargalos”. Qualquer acréscimo de carga neles não seriam atendidos.

3. Análise com Aumento de Demanda

Os dois últimos anos vêm sinalizando uma aumento nas vendas e uma diminuição nos prazos de entrega dos elevadores, gerando uma necessidade de aumento da capacidade.

No último ano, o mercado de elevadores cresceu por volta de 15%, muito relacionado com o aumento da construção civil.

Para efeito de análise, foi feita uma simulação com um aumento de demanda de 10% sobre a necessidade real, mantendo-se fixos todos os outros dados. O resultado do nível de atraso decorrente deste aumento está na tabela VI.5.

Tabela VI.5 - Atraso devido ao aumento de demanda

Família	Atraso					
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
RE7	0	0	0	8	10	0
RE820	0	0	1	0	0	0
RE21	7	0	17	31	34	49
CE10	0	0	0	0	0	0
CE1117	0	0	0	0	0	0
CE18	9	5	6	10	11	13
Total	16	5	24	49	56	62

Este grande aumento do atraso seria dado, principalmente, pela falta de capacidade de produção do centro de trabalho MC1, como visto na tabela VI.6 de horas extras, resultante desta simulação.



Tabela VI.6 - Centro de trabalho gargalo

Centro	Dispon.	Hora Extra					
		t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
CP2	936	711	639	485	379	936	936
CP3	118	42	36	43	41	34	37
CP4	151	44	42	45	45	43	43
RD1	520	0	0	0	0	0	0
RD2	167	125	134	139	151	130	117
RD3	39	0	0	0	0	0	0
RD4	119	54	0	58	37	0	0
RD5	56	0	0	0	0	0	0
RD6	68	24	23	23	22	28	25
MC1	460	460	460	460	460	460	460
MC2	200	102	99	103	102	99	100
MC3	22	3	4	0	0	13	10
MC4	66	40	39	40	40	39	39
MC5	3	2	2	2	2	2	2
CP1	210	33	61	47	54	66	43
Total	3134	1640	1538	1445	1333	1849	1812

As células em amarelo sinalizam a utilização máxima de horas extras permitidas. Percebe-se nitidamente que o centro de trabalho MC1 seria o gargalo da produção com este suposto aumento de 10% na demanda dos elevadores.

3.1 Aumento da Disponibilidade do Centro MC1

Aumentando-se a disponibilidade do centro de trabalho MC1, em 30%, ele deixa de ser gargalo, porém, verifica-se o surgimento de outros dois centros gargalos, CP2 e RD2. A tabela VI.7, mostra a nova distribuição dos consumos de disponibilidades dos centros.



Tabela VI.7 - Novos Centros Gargalos

Centro	Dispon.	Hora Extra					
		t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
CP2	936	936	936	936	936	936	936
CP3	118	70	68	69	73	56	22
CP4	151	81	81	79	83	70	23
RD1	520	114	140	105	136	29	0
RD2	167	167	167	167	167	167	94
RD3	39	0	1	0	5	0	0
RD4	119	72	32	75	84	0	0
RD5	56	0	0	0	0	0	0
RD6	68	40	43	41	42	39	20
MC1	460	0	0	0	0	0	0
MC2	200	152	153	150	155	137	73
MC3	22	9	11	10	9	13	10
MC4	66	56	57	56	57	51	30
MC5	3	3	3	3	3	2	2
CP1	210	83	110	83	83	110	19
Total	3134	1784	1802	1774	1833	1610	1229

As células em amarelos indicam os novos centros de trabalhos gargalos devido ao aumento da disponibilidade do centro MC1.

Nível de Atraso

Tabela VI.8 - Novos Níveis de Atrasos

Família	Atraso					
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
RE7	0	0	0	0	0	0
RE820	0	0	0	17	8	0
RE21	3	0	1	1	10	27
CE10	0	0	0	0	0	0
CE1117	0	0	0	0	0	0
CE18	9	0	1	0	0	2
Total	12	0	3	17	19	30

Com esta nova configuração, o nível de atraso, em relação ao atraso anterior, diminui de forma significativa, deixando um patamar de 212 para 81 elevadores, apesar dos dois novos centros gargalos apresentados anteriormente.



4. Interface com o Sistema MPS (Master Production Schedule)

Um dos objetivos deste trabalho está na interface do planejamento agregado da produção com o módulo *MPS*, que está em fase de implantação, do sistema integrado *Triton*, utilizado na empresa.

Basicamente, o *MPS* serve para desagregar um plano de produção (agregado) que, apesar de fornecer níveis de produção em cada período de planejamento, não é suficiente para preencher os requisitos em termos de produtos individuais, devido a sua natureza de agregação de produtos.

A partir de uma **demand**a de famílias de produtos em períodos mensais, o sistema *MPS* desagrega as necessidades de materiais de cada família, fazendo uma interface com o sistema *MRP* que requisita os materiais de acordo com as demandas das famílias inseridas manualmente.

Esta **demand**a seria exatamente o plano de produção agregado sugerido pelo modelo matemático, que leva em consideração as restrições de capacidades e minimiza os custos de produção. Eliminando, assim, o problema de uma eventual falta de materiais na antecipação da produção de algumas famílias.



Se não houvesse a interface do plano agregado desenvolvido como o sistema existente de planejamento de materiais, a antecipação de produção poderia gerar problemas no sistema de planejamento de compras, porque o sistema de MRP da empresa considera a data desejada de fabricação, e não a data **antecipada sugerida** de fabricação, podendo faltar material nesta data antecipada. Além do MRP não considerar a limitação de capacidade.

Entretanto, com a interface do planejamento agregado da produção com o MPS, este problema não ocorreria porque o sistema “enxergaria” esta necessidade de materiais também de forma antecipada.



*CAPÍTULO VII -
CONCLUSÕES*



1. Conclusão

O modelo matemático desenvolvido mostrou-se extremamente eficaz na resolução do problema, possibilitando a sua utilização, também, para efetuar diversos tipos de simulações em relação aos dados do modelo, como variações na demanda ou nas disponibilidades dos centros de trabalhos.

A sua utilização de forma sistemática na empresa é possível porque todos os dados considerados pelo modelo de planejamento podem ser facilmente atualizados, com uma frequência mensal, no banco de dados desenvolvido.

A partir das análises feitas, foi verificado que, principalmente, o centro de trabalho MC1 pode se tornar uma restrição de produção a médio prazo, devido à sua falta de capacidade produtiva. Entretanto, o aumento de disponibilidade neste centro é, de certa forma, fácil de se realizar, bastando a utilização de um segundo turno de trabalho, ou a contratação de mão de obra.

MPS (Master Production Schedule)

Como o desenvolvimento deste trabalho foi realizado de forma simultânea com a implantação do módulo MPS, as famílias de produtos foram as mesmas. Desta maneira, para cada rodada mensal do planejamento agregado, os resultados provenientes do plano de produção serão “inputados” no módulo MPS do sistema que desagregará as famílias em componentes, possibilitando a emissão de suas ordens de compra e fabricação individualizados nos prazos adequados.



Portanto, este trabalho serve como auxílio nas tomadas de decisões da estratégia de manufatura da empresa e abre um caminho que era conhecido, porém até então não colocado em prática, que é o uso sistemático de um modelo de planejamento agregado da produção que levasse em consideração as limitações de capacidade e os custos de produção.



1. Referências Bibliográficas

BUFFA, E.S. and J.G. MILLER. *Production - Inventory Systems: Planning and Control*, Illinois, Richard D. Irwin Inc., 1979.

RAGSDALE, C.T. *Spreadsheet Modeling and Decision Analysis: A Practical Introduction to Management Science*, Cambridge, Course Technology, Inc., 1995.

SANTORO, M.C. *Planejamento, Programação e Controle da Produção e Estoques*, Apostilas, São Paulo, 1994

NETO, P.R.B. *Modelos Matemáticos para PPCP*, Apostila, São Paulo.



ANEXO 1

Anexo I

Centro de Trabalho MC

Tipo de Comando Eletrônico

Comandos	Tempo	RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Tipo A	12,69	1%	1%	1%	2%	4%	0%
Tipo B	7,54	39%	39%	38%	39%	39%	38%
Tipo C	22	60%	59%	57%	59%	58%	56%
Tipo D	30	1%	1%	3%	0%	0%	6%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Montagem do armário (MC1)</i>	16,3	16,3	16,6	16,1	16,1	17,1	
<i>Montagem da boteira da cabina (MC2)</i>	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	
<i>Montagem da boteira de pavimento(MC3)</i>	0,27	0,71	1,24	0,33	0,68	1,08	
<i>Montagem dos Limites(MC4)</i>	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	
<i>Montagem do visor(MC5)</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	

Centro de Trabalho RD

Tipos de máquinas

Usinagem	Tempo	RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Máquina A	14,1	100%	99%	81%	95%	76%	38%
Máquina B	30,7	0%	0%	18%	5%	11%	9%
Máquina C	42,0	0%	0%	1%	0%	13%	53%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tempo Ponderado Usinagem (h) **14,1 14,3 17,3 14,9 19,6 30,5**

Montagem	Tempo	RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Máquina A	6	100%	99%	81%	95%	76%	38%
Máquina B	18	0%	0%	18%	5%	11%	9%
Máquina C	20	0%	0%	1%	0%	13%	53%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tempo Ponderado Montagem (h) **6,0 6,1 8,3 6,6 9,2 14,6**

Centro de Trabalho	RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
<i>Usinagem (RD1)</i>	14,1	14,3	17,3	14,9	19,6	30,5
<i>Montagem Máquina A (RD2)</i>	6,0	6,0	4,9	5,7	4,6	2,3
<i>Montagem Máquina B e C (RD3)</i>	-	0,1	3,4	0,9	4,6	12,3
<i>Montagem do Limitador(RD4)</i>	2,31	2,31	2,31	8,70	8,70	8,70
<i>Montagem do Operador de Porta(RD5)</i>	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
<i>Corte do Cabo de Tração(RD6)</i>	1,80	2,20	2,40	2,00	2,20	2,50

Anexo I

Centro de Trabalho CP

Tipos de Acabamento da Cabina

Tipos de Acabamentos	Tempo Padrão	RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Tipo A	3,48	2%	0%	1%	2%	2%	0%
Tipo B	9,78	49%	56%	39%	9%	9%	10%
Tipo C	3,87	49%	44%	60%	89%	89%	90%
Total		100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tempo Ponderado (h) (CP1)		6,8	7,2	6,2	4,4	4,4	4,5

Tipos de Porta de Pavimento

Tipos de Porta		RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Tipo A		4	3	0	0	0	0
Tipo B		34	171	86	79	149	44
Tipo C		40	147	30	20	26	3
Tipo D		101	639	106	19	19	1
Total		179	960	222	118	194	48

Número médio de Paradas por Tipo de Porta

Tipos de Porta		RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Tipo A		5	17	0	0	0	0
Tipo B		5	14	25	6	14	20
Tipo C		5	12	26	7	14	24
Tipo D		5	14	24	7	13	20
Média		5,3	14,3	24,9	6,5	13,6	21,5

Quantidade média de Portas de Pavimento

Tipos de Porta	Tempo Padrão	RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18
Tipo A	2,79	20	51	0	0	0	0
Tipo B	2,37	186	2427	2134	483	2137	892
Tipo C	2,09	216	1811	779	130	353	73
Tipo D	1,22	547	8723	2527	133	244	20
Total		969	13012	5440	746	2734	985

Tempo Ponderado (h) (CP2)

<i>Fabricação da Cabina (CP1)</i>	6,8	7,2	6,2	4,4	4,4	4,5
<i>Fabricação de Portas (CP2)</i>	8,9	22,3	44,7	13,8	30,3	50,1
<i>Segurança(CP3)</i>	3,63	3,63	3,63	4,05	4,05	4,05
<i>Teto e Plataforma (CP4)</i>	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71	4,71



ANEXO 2

Anexo II - Dados para o planejamento

Centro Trabalho	Produtos						Custo das horas			IEXM	DISPco
	RE7	RE820	RE21	CE10	CE1117	CE18	norm	ociosa	extra		
CP2	8,9	22,3	44,7	13,8	30,3	50,1	0,03	0,04	0,04	0,25	3120
CP3	3,6	3,6	3,6	4,1	4,1	4,1	0,03	0,04	0,04	0,25	590
CP4	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	0,03	0,04	0,04	0,25	754
RD1	14,1	14,3	17,3	14,9	19,6	30,5	0,03	0,04	0,04	0,25	2600
RD2	6,0	6,0	4,9	5,7	4,6	2,3	0,03	0,04	0,04	0,25	835
RD3	0,0	0,1	3,4	0,9	4,6	12,3	0,03	0,04	0,04	0,25	196
RD4	2,3	2,3	2,3	8,7	8,7	8,7	0,03	0,04	0,04	0,25	594
RD5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	0,03	0,04	0,04	0,25	280
RD6	1,8	2,2	2,4	2,0	2,2	2,5	0,03	0,04	0,04	0,25	340
MC1	16,3	16,3	16,6	16,1	16,1	17,1	0,03	0,04	0,04	0,25	2300
MC2	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	0,03	0,04	0,04	0,25	1000
MC3	0,3	0,7	1,2	0,3	0,7	1,1	0,03	0,04	0,04	0,25	108
MC4	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	0,03	0,04	0,04	0,25	330
MC5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	0,04	0,04	0,25	15
CP1	6,8	7,2	6,2	4,4	4,4	4,5	0,03	0,04	0,04	0,25	1050

mi	12	17	29	18	27	36	Custo unitário de produção
ei	0,15	0,19	0,24	0,15	0,19	0,22	Custo mensal de estoque
fi	1000	1000	1000	1000	1000	1000	Custo de atraso

ESTio	0	0	0	0	0	0	Estoque inicial
ATRio	1	5	1	2	4	2	Atraso inicial

PVEit	Carteira de pedidos					
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6
	18	83	17	13	18	6
	20	95	6	18	5	0
	16	102	15	15	22	1
	22	103	15	23	11	3
	16	97	24	12	10	1
	13	81	36	10	18	2

Anexo II - Restrições do Modelo

Restrições

s.a.	0	=	0 i=1	t=1	CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO, ESTOQUE E ATRASOS 2 PARA PRODUTO 1
	7	=	7		3
	8	=	8		4
	0	=	0		5
	0	=	0		6
	0	=	0 i=2	t=1	CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO, ESTOQUE E ATRASOS 2 PARA PRODUTO 2
	0	=	0		3
	0	=	0		4
	0	=	0		5
	0	=	0		6
	0	=	0 i=3	t=1	CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO, ESTOQUE E ATRASOS 2 PARA PRODUTO 3
	0	=	0		3
	0	=	0		4
	2	=	2		5
	4	=	4		6
	0	=	0		
	0	=	0 i=4	t=1	CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO, ESTOQUE E ATRASOS 2 PARA PRODUTO 4
	7	=	7		3
	2	=	2		4
	0	=	0		5
	0	=	0		6
	0	=	0 i=5	t=1	CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO, ESTOQUE E ATRASOS 2 PARA PRODUTO 5
	0	=	0		3
	0	=	0		4
	0	=	0		5
	0	=	0		6
	-4	=	-4 i=6	t=1	CONDIÇÕES DE PRODUÇÃO, ESTOQUE E ATRASOS 2 PARA PRODUTO 6
	0	=	0		3
	0	=	0		4
	2	=	2		5
	0	=	0		6
4011	=	4011	NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=1 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)		
3327	=	3327	T=2		
3952	=	3952	T=3		
3968	=	3968	T=4		
4056	=	4056	T=5		
4056	=	4056	T=6		
620	=	620	NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=2 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)		
602	=	602	T=2		
620	=	620	T=3		
629	=	629	T=4		
603	=	603	T=5		
572	=	572	T=6		

Anexo II - Restrições do Modelo

782 = 782 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=3 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
763 = 763 T=2
787 = 787 T=3
797 = 797 T=4
769 = 769 T=5
727 = 727 T=6
2612 = 2612 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=4 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
2432 = 2432 T=2
2568 = 2568 T=3
2584 = 2584 T=4
2514 = 2514 T=5
2403 = 2403 T=6
921 = 921 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=5 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
932 = 932 T=2
944 = 944 T=3
958 = 958 T=4
918 = 918 T=5
858 = 858 T=6
235 = 235 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=6 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
126 = 126 T=2
185 = 185 T=3
177 = 177 T=4
191 = 191 T=5
212 = 212 T=6
646 = 646 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=7 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
594 = 594 T=2
594 = 594 T=3
615 = 615 T=4
537 = 537 T=5
536 = 536 T=6
257 = 257 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=8 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
251 = 251 T=2
259 = 259 T=3
262 = 262 T=4
253 = 253 T=5
239 = 239 T=6
359 = 359 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=9 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
343 = 343 T=2
362 = 362 T=3
367 = 367 T=4
356 = 356 T=5
339 = 339 T=6
2708 = 2708 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=10 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
2641 = 2641 T=2
2725 = 2725 T=3
2760 = 2760 T=4
2668 = 2668 T=5
2522 = 2522 T=6

Anexo II - Restrições do Modelo

1079 = 1079 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=11 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
1053 = 1053 T=2
1087 = 1087 T=3
1099 = 1099 T=4
1061 = 1061 T=5
1004 = 1004 T=6
114 = 114 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=12 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
98 = 98 T=2
115 = 115 T=3
116 = 116 T=4
119 = 119 T=5
117 = 117 T=6
362 = 362 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=13 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
353 = 353 T=2
364 = 364 T=3
369 = 369 T=4
356 = 356 T=5
337 = 337 T=6
17 = 17 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=14 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
16 = 16 T=2
17 = 17 T=3
17 = 17 T=4
16 = 16 T=5
15 = 15 T=6
1051 = 1051 NÍVEL DE UTILIZAÇÃO DO C=15 DEVE SER IGUAL ÀS HNO + HEX (T=1)
1050 = 1050 T=2
1086 = 1086 T=3
1093 = 1093 T=4
1070 = 1070 T=5
992 = 992 T=6
3120 = 3120 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=1, T=1
3120 = 3120 T=2
3120 = 3120 T=3
3120 = 3120 T=4
3120 = 3120 T=5
3120 = 3120 T=6
590 = 590 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=2, T=1
590 = 590 T=2
590 = 590 T=3
590 = 590 T=4
590 = 590 T=5
590 = 590 T=6
754 = 754 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=3, T=1
754 = 754 T=2
754 = 754 T=3
754 = 754 T=4
754 = 754 T=5
754 = 754 T=6

Anexo II - Restrições do Modelo

2600 = 2600 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=4, T=1
2600 = 2600 T=2
2600 = 2600 T=3
2600 = 2600 T=4
2600 = 2600 T=5
2600 = 2600 T=6
835 = 835 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=5, T=1
835 = 835 T=2
835 = 835 T=3
835 = 835 T=4
835 = 835 T=5
835 = 835 T=6
196 = 196 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=6, T=1
196 = 196 T=2
196 = 196 T=3
196 = 196 T=4
196 = 196 T=5
196 = 196 T=6
594 = 594 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=7, T=1
594 = 594 T=2
594 = 594 T=3
594 = 594 T=4
594 = 594 T=5
594 = 594 T=6
280 = 280 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=8, T=1
280 = 280 T=2
280 = 280 T=3
280 = 280 T=4
280 = 280 T=5
280 = 280 T=6
340 = 340 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=9, T=1
340 = 340 T=2
340 = 340 T=3
340 = 340 T=4
340 = 340 T=5
340 = 340 T=6
2300 = 2300 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=10, T=1
2300 = 2300 T=2
2300 = 2300 T=3
2300 = 2300 T=4
2300 = 2300 T=5
2300 = 2300 T=6
1000 = 1000 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=11, T=1
1000 = 1000 T=2
1000 = 1000 T=3
1000 = 1000 T=4
1000 = 1000 T=5
1000 = 1000 T=6
108 = 108 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=12, T=1
108 = 108 T=2
108 = 108 T=3
108 = 108 T=4
108 = 108 T=5
108 = 108 T=6

Anexo II - Restrições do Modelo

330 = 330 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=13, T=
330 = 330 T=2
330 = 330 T=3
330 = 330 T=4
330 = 330 T=5
330 = 330 T=6
15 = 15 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=14, T=
15 = 15 T=2
15 = 15 T=3
15 = 15 T=4
15 = 15 T=5
15 = 15 T=6
1050 = 1050 UTILIZAÇÃO DE HNO+HOC = A DISPONIBILIDADE DO CENTRO, C=15, T=
1050 = 1050 T=2
1050 = 1050 T=3
1050 = 1050 T=4
1050 = 1050 T=5
1050 = 1050 T=6
891 <= 936 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=1, T=1
207 <= 936 T=2
832 <= 936 T=3
848 <= 936 T=4
936 <= 936 T=5
936 <= 936 T=6
30 <= 118 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=2, T=1
12 <= 118 T=2
30 <= 118 T=3
39 <= 118 T=4
13 <= 118 T=5
0 <= 118 T=6
28 <= 151 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=3, T=1
9 <= 151 T=2
33 <= 151 T=3
43 <= 151 T=4
15 <= 151 T=5
0 <= 151 T=6
12 <= 520 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=4, T=1
0 <= 520 T=2
0 <= 520 T=3
0 <= 520 T=4
0 <= 520 T=5
0 <= 520 T=6
86 <= 167 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=5, T=1
97 <= 167 T=2
109 <= 167 T=3
123 <= 167 T=4
83 <= 167 T=5
23 <= 167 T=6
39 <= 39 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=6, T=1
0 <= 39 T=2
0 <= 39 T=3
0 <= 39 T=4
0 <= 39 T=5
16 <= 39 T=6

Anexo II - Restrições do Modelo

52 <= 119 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=7, T=1
0 <= 119 T=2
0 <= 119 T=3
21 <= 119 T=4
0 <= 119 T=5
0 <= 119 T=6
0 <= 56 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=8, T=1
0 <= 56 T=2
0 <= 56 T=3
0 <= 56 T=4
0 <= 56 T=5
0 <= 56 T=6
19 <= 68 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=9, T=1
3 <= 68 T=2
22 <= 68 T=3
27 <= 68 T=4
16 <= 68 T=5
0 <= 68 T=6
408 <= 460 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=10, T=1
341 <= 460 T=2
425 <= 460 T=3
460 <= 460 T=4
368 <= 460 T=5
222 <= 460 T=6
79 <= 200 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=11, T=1
53 <= 200 T=2
87 <= 200 T=3
99 <= 200 T=4
61 <= 200 T=5
4 <= 200 T=6
6 <= 22 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=12, T=1
0 <= 22 T=2
7 <= 22 T=3
8 <= 22 T=4
11 <= 22 T=5
9 <= 22 T=6
32 <= 66 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=13, T=1
23 <= 66 T=2
34 <= 66 T=3
39 <= 66 T=4
26 <= 66 T=5
7 <= 66 T=6
2 <= 3 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=14, T=1
1 <= 3 T=2
2 <= 3 T=3
2 <= 3 T=4
1 <= 3 T=5
0 <= 3 T=6
1 <= 210 RESTRIÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE HEX C=15, T=1
0 <= 210 T=2
36 <= 210 T=3
43 <= 210 T=4
20 <= 210 T=5
0 <= 210 T=6

To return to your worksheet, close this file.

CLASSIFICATION STATISTICS	Current /	Maximum
Numeric	1688 /	64000
Instructions	7511	
Adjustable	378	
Integers	0	
Optimizable	1131 /	16000
Formulas	753 /	8000
Nonlinear	0	
Coefficients	2724	

Model Type: LINEAR

The smallest and largest coefficients in the model were:

0.25700000E-01 3120.0000

The smallest coefficient occurred in constraint cell: O26
on optimizable cell: T63

The largest coefficient occurred in constraint cell: L193
on optimizable cell: RHS

Tries: 312 Infeasibility: 0 Objective: 25564.21

Solution Status: GLOBALLY OPTIMAL.

End of file.

