

ESCOLA POLITÉCNICA DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

DE PRODUÇÃO

TRABALHO DE FORMATURA

PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE VIDRO

Autor: ROBERTO MALOUF ZERO

Orientador: PROF. GREGÓRIO BOUER

1.978

ROBERTO ZERO

AGRADECIMENTOS

Além do orientador, Prof. Gregório Bouer, as seguintes pessoas contribuiram para a realização deste trabalho:

Professor Miguel C. Santoro - Departamento de Engenharia de Produção da E.P.U.S.P.

Engenheiro Bogdan Igor Holvko - TEO Central

Engenheiro Moisés Berland - TEO Central

Economista José C. Ferrante - Planejamento Industrial GIV

Engenheiro Cesar Pardini - TEO - GIV



## SUMÁRIO

Este trabalho trata da elaboração de um modelo de programação da produção do setor de fundição e prensagem de uma fábrica de bulbos de vidro para cinescópios de aparelhos televisores.

O setor de fundição e prensagem é composto por um forno que efetua a fusão do vidro e duas prensas que moldam a massa de vidro fundida. São fabricados um total de quatorze produtos, agrupados em três diferentes tipos de vidro e que possuem tempos de preparação dependentes da sequência.

Inicialmente foi desenvolvido um modelo de programação linear mista, que, entre outros motivos, por sua complexidade, não foi adotado. Em seguida foi testado um modelo de rotação cíclica que se adaptou às características do problema.

## Í N D I C E

1. Introdução .....	7
1.1. Resumo .....	8
1.2. Descrição Geral da Fábrica .....	10
1.3. O estágio .....	10
2. Informações Gerais .....	14
2.1. O Produto .....	14
2.2. O Mercado .....	16
2.3. O Processo Produtivo .....	17
3. Área de atuação e Objetivos do Trabalho .....	22
3.1. O Planejamento Industrial da Ibrape Capuava .....	22
3.2. A Programação do Setor de Fundição e Prensagem .....	26
3.3. Objetivos do Trabalho .....	28
4. O Modelo de Programação Linear Mista .....	32
4.1. Abordagem Hierárquica .....	33
4.2. Considerações Iniciais .....	34
4.2.1. Decisão a Nível de Tipo .....	34
4.2.1.1. Função Objetivo .....	36
4.2.1.2. Restrições .....	37
4.2.2. Decisão a Nível de Item .....	38
4.2.2.1. Função Objetivo .....	41
4.2.2.2. Restrições .....	41
4.3. O Modelo .....	43
4.3.1. Decisão a Nível de Tipo .....	43

4.3.1.1. Definições .....	43
4.3.1.2. Função Objetivo .....	44
4.3.1.3. Restrições .....	45
4.3.1.4. Outras Considerações .....	46
4.3.2. Decisão a Nível de Item .....	47
4.3.2.1. Definições .....	47
4.3.2.2. Função Objetivo .....	49
4.3.2.3. Restrições .....	50
4.3.2.4. Outras Considerações .....	53
4.4. Conclusões .....	54
5. Um Modelo Simplificado .....	57
5.1. Considerações Iniciais e Restrições Impostas .....	57
5.2. Decisão a Nível de Tipo .....	58
5.2.1. Sequência Ótima .....	59
5.2.2. Tamanho Ótimo do Ciclo .....	60
5.3. Decisão a Nível de Item .....	66
5.4. Conclusões .....	68
6. Exemplo de Programação .....	71
6.1. Coleta de Dados .....	71
6.1.1. Custos Envolvidos .....	72
6.1.1.1. Custos de Preparação .....	72
6.1.1.2. Custos de Estocagem .....	73
6.1.2. Dados Técnicos de Produção e Demanda ..	75
6.2. Decisão a nível de Tipo .....	79
6.3. Decisão a nível de item .....	83
7. Conclusões .....	86
Bibliografia.....	88
Anexo.....	89

1. INTRODUÇÃO



## 1. Introdução

O trabalho foi desenvolvido na área de planejamento industrial da fábrica de vidros da Ibrape - Indústria Brasileira de Produtos Eletrônicos e Elétricos S.A.

A Ibrape, uma das associadas da Organização Philips Brasileira é formada por três unidades industriais, a saber:

Ibrape Capuava - fabricante de bulbos de vidro para cinescópios.

Ibrape São José dos Campos - fabricante de cinescópios para aparelhos televisores

Ibrape Vila Maria - fabricante de capacitores, válvulas, transistores, diodos, bobinas defletoras, etc....

A Philips, empresa multinacional de origem holandesa, opera no ramo elétrico eletrônico, produzindo desde lâmpadas incandescentes até complexos equipamentos de telecomunicação.

Fundada em 1891 em Eindhoven, Holanda, a Philips se instalou em 1924 no Brasil, apenas com atividades comerciais. A primeira fábrica surgiu em 1948 em Vila

Maria e permanece em operação até hoje. De lá para cá, a Organização Philips Brasileira vem se expandindo significativamente, contando hoje com dezenas de unidades industriais, comerciais e prestadoras de serviços e empregando cerca de 18.000 funcionários no território nacional.

A Fábrica de Capuava é a representante latino americana de um total de cinco fábricas de bulbos de vidro que a Philips controla no mundo. As outras estão situadas na Alemanha, Holanda, Inglaterra e Taiwan.

### 1.1. Resumo

O trabalho realizado foi um estudo sobre a programação da produção do setor de fundição e prensagem de uma fábrica de bulbos de vidro para cinescópios de aparelhos televisores. O setor abrangido por este trabalho conta com duas prensas alimentadas por um único forno e que produzem um total de 14 itens, agrupados em 3 diferentes tipos de vidro. A produção destes três tipos de vidro conta com tempos de preparação dependentes da sequência.

Neste primeiro capítulo, fazemos uma pequena descrição da empresa, bem como das condições em que o estágio se desenvolveu.

No capítulo 2, são encontradas informações a respeito dos produtos, bem como do processo produtivo da fábrica, com ênfase no setor estudado. Encontramos também informações a respeito do destino dos produtos.

No terceiro capítulo são fornecidos maiores detalhes sobre o planejamento da empresa e das dificuldades encontradas na programação do setor de fundição/prensagem.

O capítulo 4 trata de um modelo de programação linear mista desenvolvido para efetuar os programas de produção do forno e das prensas.

O modelo apresentado no capítulo 4 em virtude de sua complexidade, é carente de aplicação prática para a empresa, pelo menos a curto prazo. No capítulo 5, apresentamos um modelo alternativo, menos sofisticado que o anterior, porém possuidor de uma simplicidade que tornará a sua implantação uma alternativa viável.

No capítulo 6, utilizamos o modelo desenvolvido para efetuar um programa de produção. É uma exemplificação do modelo exposto no capítulo 5.

Finalmente, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões finais, bem como o cálculo da economia prevista, advinda da implantação do modelo elaborado.

### 1.2. Descrição geral da fábrica

Localizado no distrito industrial de Capuava, município de Mauá, a fábrica de bulbos da Ibrape, também denominada G.I.V. (Grupo Industrial Vidros) teve sua construção iniciada em 1965 e já em 1966 foi produzido o primeiro bulbo.

Atualmente a fábrica conta com o trabalho de 600 funcionários distribuídos nos 80.000 m<sup>2</sup> de área, dos quais 30.000 m<sup>2</sup> são edificados. Cerca de 50% do pessoal é direto, trabalhando em regime de três turnos e 4 turnos contínuos.

A capacidade de produção orçada para 1978 é de aproximadamente 2,2 milhões de bulbos.

### 1.3. O estágio

Além de suas diversas unidades industriais e comerciais distribuídas no Brasil, a Philips mantém um escritório central em São Paulo que, entre outras atividades, presta apoio às unidades em determinadas áreas.

O estágio foi realizado no Departamento TEO Central (Técnico de Eficiência e Organização), que elabora o programa de estágio descrito a seguir, no quadro 1.

Jan	I - Introdução
Fev	II - Estudo de caso e visita às unidades
Mar	III - Fase operária
Abr	IV - Estágio em diversos departamentos e trabalho de formatura.
Mai	
Jun	V - Palestras e trabalho de formatura.
Jul	VI- Fase de supervisão
Ago a Nov	VII- Trabalho de formatura

Quadro 1 - Fases do estágio

Adaptado do programa de estágio do TEO - 1978

O trabalho de formatura (fases IV, V e VII) foi desenvolvido no departamento de Planejamento Industrial da Ibrape-Capuava, mediante acordo deste departamento - com o TEO Central. As demais fases do estágio foram realizadas em outras unidades industriais da Organização Philips Brasileira, a saber: Constanta, Ibrape São José dos Campos, Ibrape Vila Maria, Imbelsa, Philips Capuava, Philips Guarulhos, Philips Piracicaba e Walita.

2. INFORMAÇÕES GERAIS

## 2. Informações Gerais

Está previsto para o próximo ano uma reforma geral no forno de fundição de vidro da fábrica, com o objetivo de ampliar a sua capacidade produtiva. Tal reforma implicará na paralisação de parte da fábrica durante o período de obras estimado em cinco meses.

No reinício das atividades, todavia, será iniciada a fabricação de novos produtos, além daqueles atualmente produzidos, fazendo com que a ocupação prevista - dos equipamentos, se tudo ocorrer conforme o planejado, estará muito próxima de sua capacidade máxima.

### 2.1. O produto

O bulbo de vidro é o primeiro passo para a obtenção de um cinescópio para aparelhos televisores. Ele é obtido a partir da junção de seus dois componentes, tela e cone, também denominados genericamente de peças de vidro. Naturalmente, para cada tamanho de tela (12", 17", etc) há um cone correspondente. O tamanho do bulbo, que define o tamanho do cinescópio e portanto do televisor é obtido medindo-se a diagonal da tela. Tal medida é geralmente expressa em polegadas.

Um cinescópio pode ser de dois tipos: colorido ou preto e branco. Na fábrica de Capuava são produzidos -

bulbos para cinescópios preto e branco e cones para a posterior montagem de bulbos para cinescópios coloridos. A composição química do vidro para telas e cones preto e branco é a mesma. Todavia, ela é diferente no caso de peças de vidro de bulbos para cinescópios a cores. São necessários portanto três tipos de vidro para a fabricação dos cinescópios. Um para telas e cones preto e branco, outro para tela cores e o terceiro para cone cores.

A fábrica de São José dos Campos produz cinescópios a cores e preto e branco. As telas cores atualmente são importadas, mas passarão a ser produzidas em Capuava, após concluída a reforma do forno. Por motivos técnicos, a junção das telas e cones cores será feita em São José dos Campos.

Assim sendo, os produtos finais da fábrica serão os seguintes:

- bulbos para cinescópios preto e branco
- telas para bulbos coloridos
- cones para bulbos coloridos

Cada uma destas três classes de produtos é fabricada a partir de um tipo diferente de vidro, com desigual composição química.

Tipo de vidro	Produto Final	Componentes
Branco e Preto (BP)	Bulbo 12"	tela 12" cone 12"
	Bulbo 17"	tela 17" cone 17"
	Bulbo 20"	tela 20" cone 20"
	Bulbo 23"	tela 23" cone 23"
	Bulbo 24"	tela 24" cone 24"
Tela cor (TC)	Tela 20"	
	Tela 26"	
Cone cor (CC)	Cone 20"	
	Cone 26"	

Tabela 2 - Relação dos produtos finais da fábrica a partir de 1979.

elaborado pelo autor.

## 2.2. O mercado

A maior parte dos bulbos e peças de vidro produzidos são vendidos à Ibrape São José dos Campos, que produz

cinescópios para a fábrica de televisores Philips e para outros mercados. O restante da produção é vendido a terceiros, sob a forma de venda local e exportação.

Este complexo industrial verticalizado é benéfico no tocante à elaboração de planos de produção para as diversas fases do processo, já que as previsões de vendas dos televisores originam previsões de vendas de cinescópios que por sua vez são o ponto de partida para a obtenção dos planos de produção de bulbos e peças de vidro.

No Brasil, apenas uma indústria concorre com a fábrica de vidro da Ibrape, dividindo com ela o mercado em proporções aproximadamente iguais.

As perspectivas para os próximos anos são promissoras, em virtude da substituição das importações de telas e da crescente demanda de aparelhos televisores coloridos e preto e branco.

### 2.3. O processo produtivo

Procuraremos dar apenas uma visão geral do processo e omitiremos, na medida do possível detalhes irrelevantes para o presente estudo.

A fábrica de vidros da Ibrape apresenta características de uma indústria de processamento contínuo, com tendência para intermitente repetitiva. Possivelmente, a melhor classificação que poderia ser dada a tal processo é o de contínua com diferenciação.

Basicamente, existem três departamentos produtivos, a saber:

- fundição/prensagem
- polimento
- junção

A matéria-prima, composta essencialmente por sacarias e areia a granel, é armazenada em um depósito provido de estrutura porta pallets e equipamento especial de elevação. Dali, a matéria-prima é encaminhada para uma torre de mistura onde é pesada para formar a composição adequada do vidro, indo, em seguida alimentar o forno que fará a fusão do material, dando assim origem ao vidro.

O forno alimenta as duas prensas, que são iguais e podem produzir indistintamente telas e cones, de qualquer tamanho, dentre os produzidos. A capacidade atual de produção do forno é de cerca de 100 ton. de vidro por dia, sendo que após a reforma haverá um incremento de aproximadamente 20% na capacidade do forno. Cada pren-

sa é provida de uma mesa giratória, que comporta 11 (onze) moldes e uma matriz.

As peças de vidro (telas e cones) produzidas são embaladas para estocagem, já que é imprescindível a existência de estoque intermediário de telas e cones. As embalagens são de polipropileno e não necessitam de área coberta para serem armazenados.

As telas sofrem o polimento, um tratamento simples, caracterizado pelo atrito entre um abrasivo e a tela, - com o auxílio de um equipamento especial.

A seguir, juntamente com os cones, as telas seguem para a junção, última etapa na fabricação dos bulbos. A junção é efetuada fundindo-se as bordas da tela e do cone por meio de maçaricos em tres conjuntos especialmente projetados para tal atividade.

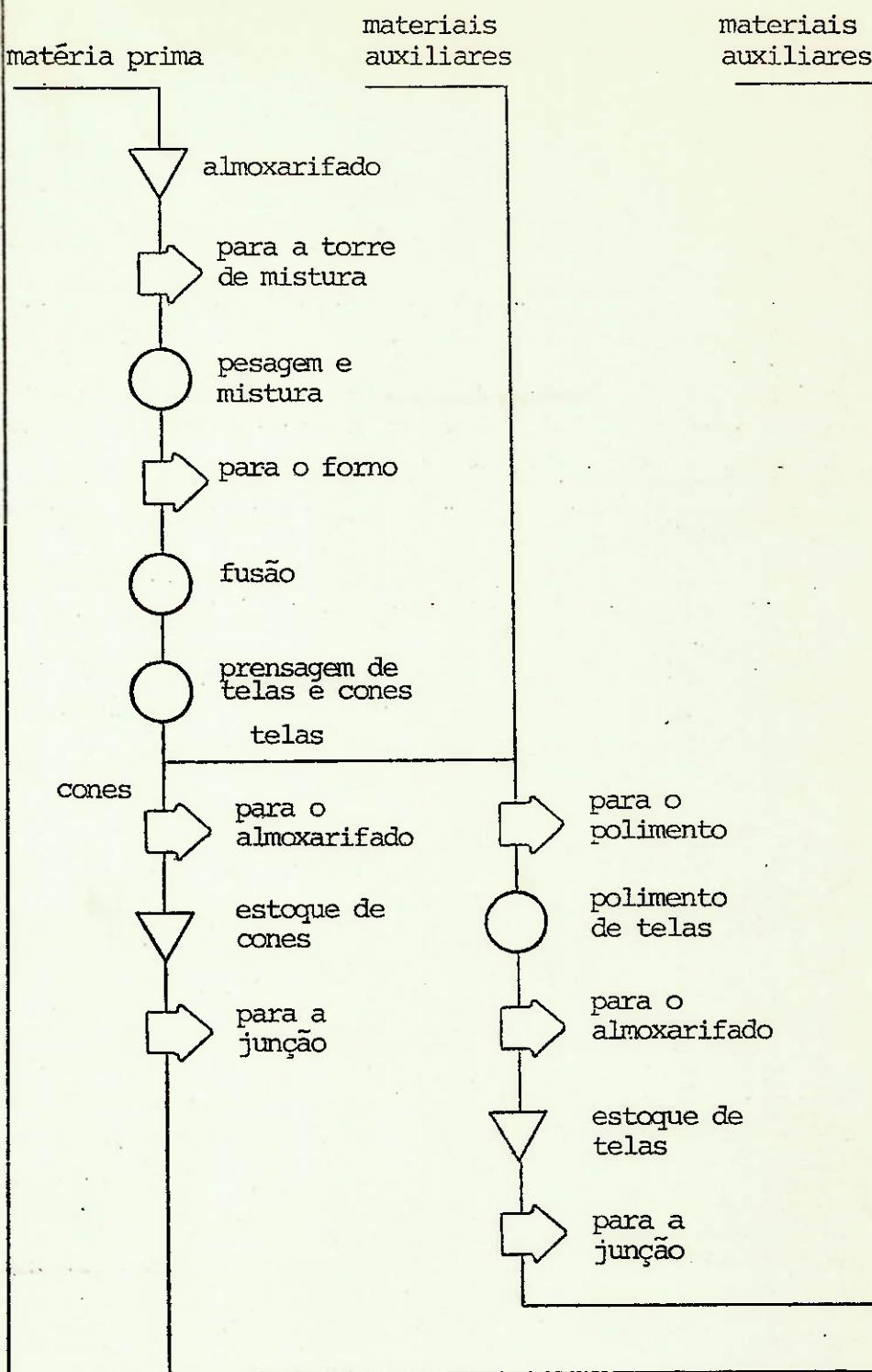


FIGURA 1

## FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DA FABRICACÃO DE BULBOS



3. ÁREA DE ATUAÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO

### 3. Área de atuação e objetivos do trabalho

#### 3.1. O planejamento industrial da Ibrape Capuava

Um complexo industrial verticalizado apresenta uma série de características que, se bem exploradas, resultam em amplos benefícios para a empresa sob os mais diversos aspectos. Uma das vantagens é, por exemplo, a maior garantia de suprimentos no prazo estipulado e na qualidade especificada.

Uma outra vantagem é a maior facilidade de elaboração de planos de produção dos componentes primários, já que eles são função dos planos de produção dos produtos finais.

A fábrica de vidros da Ibrape está situada no extremo inicial de todo um processo industrial, que começa exatamente na fabricação do bulbo, passa pela fabricação do cinescópio e termina com a montagem de televisor, conforme podemos observar na figura 2.

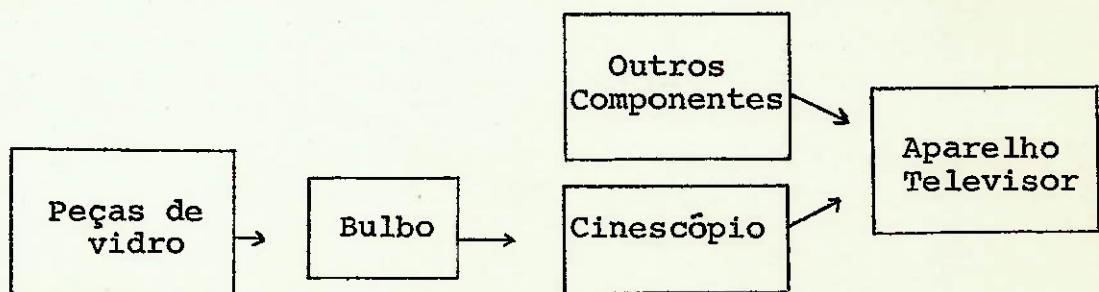


Fig. 2 - Fases da fabricação de aparelhos televisores

Em termos de planos de produção, o caminho é o inverso, já que o ponto de partida é a previsão de vendas de televisores.

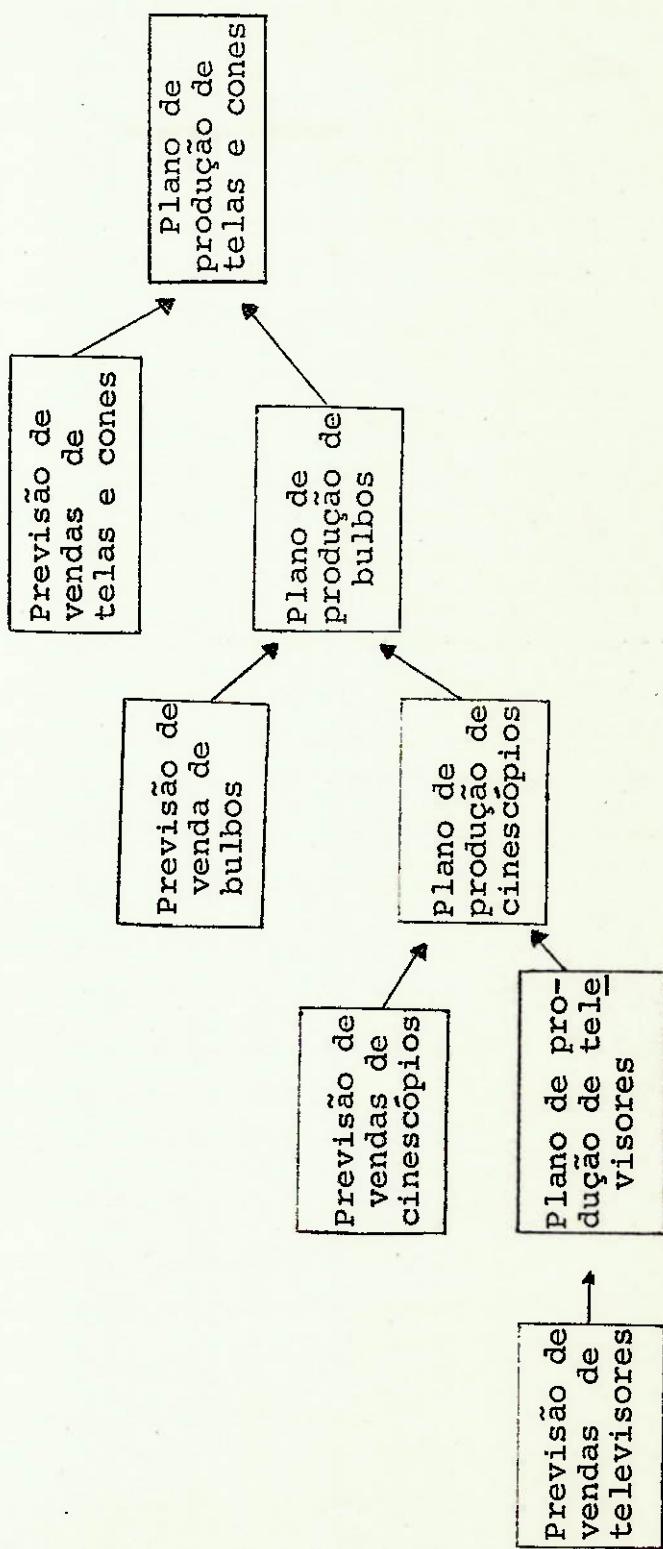


Figura 3 - Figura ilustrativa do processo gerador dos planos de produção, nas diversas etapas da fabricação de aparelhos televisores.

O departamento de planejamento industrial recebe periodicamente um plano das necessidades de bulbos que deve ser transformado em programas de produção para os diversos setores produtivos.

O plano anual de produção de bulbos é feito em função da previsão de vendas de bulbos (para empresas associadas e outros mercados), estoque de bulbos desejado - no final do período e posição do estoque no início do período.

Todo o trabalho de previsão de vendas, tanto dos televisores como dos cinescópios e bulbos é, na Organização Philips Brasileira, função do departamento comercial, ficando portanto a fábrica alheia a todo este processo.

O plano anual de produção de peças de vidro (telas e cones) é feito em função do plano de produção de bulbos, da previsão de vendas de peças de vidro, do estoque de peças de vidro desejado no final do período e da posição do estoque no início do período.

A programação da fábrica deve abranger os seus três setores produtivos: fundição/prensagem, polimento e junção. Como estes três setores estão separados entre si por estoques intermediários, é admissível programar cada um deles independentemente do outro, des-

de que os níveis dos estoques intermediários assim o permita.

A programação do polimento e da junção não é problemática em virtude destes setores apresentarem capacidade ociosa de produção. Além deste fato, a própria natureza dos equipamentos e das operações realizadas contribuem para dar a estes setores uma maior flexibilidade na escolha dos programas de produção mais adequados.

O setor de fundição/prensagem constitui o maior problema para a programação da fábrica. A não existência de capacidade ociosa, aliada aos altos tempos de preparação, tanto para a mudança de tipo de vidro no forno quanto para a mudança do ferramental das duas prensas existentes e a consequente necessidade da existência de estoques de peças de vidro produzidas, fazem da programação deste setor uma tarefa árdua e com muitas variáveis a serem levadas em consideração.

O plano de compras de matérias-primas é bastante simplificado, já que o consumo delas obedece a uma taxa aproximadamente constante no decorrer do tempo. O mesmo acontece com os planos de contratação de mão-de-obra, aliado ainda o fato do processo ser largamente automatizado.

### 3.2. A programação do setor de fundição e prensagem

A partir do próximo ano será iniciada a produção de telas para cinescópios a cores. Em virtude de já termos conhecimento dos dados técnicos de produção deste produto (ele é produzido em outras unidades da Philips no exterior) bem como dos dados de mercado (atualmente as telas para cinescópios a cores são importadas), para efeito deste trabalho passaremos a considerar - este produto da mesma maneira que os demais, que já estão em produção normal.

Tipo de Vidro	Produtos do setor de fundição/prensagem
BP	tela 12" cone 12" tela 17" cone 17" tela 20" cone 20" tela 23" cone 23" tela 24" cone 24"
TC	tela 20" tela 26"
CC	cone 20" cone 26"

Tabela 3 - Relação dos produtos fabricados na prensa  
Elaborado pelo autor.

A programação do setor de fundição e prensagem envolve dois níveis de decisão: o tipo de vidro a ser produzido no forno (programação do forno) e o tipo de peça de vidro a ser produzido nas prensas (programação das prensas).

Naturalmente as duas prensas não podem produzir peças de diferentes tipos de vidro simultaneamente, já que elas são alimentadas por um único forno. Assim, quando o forno estiver produzindo vidro do tipo "TC", ambas as prensas deverão estar produzindo telas para cinescópios coloridos.

O problema da programação ainda apresenta uma particularidade: o tempo de troca de um tipo de vidro para outro no forno (tempo de preparação do forno) é dependente da sequência, isto é, o tempo de preparação não é função apenas do tipo de vidro que vai ser produzido, mas é função também do tipo produzido no período anterior. Isto é causado pela diferença existente na composição química dos tipos de vidro.

As ferramentas são uma limitação para a programação. Cada prensa necessita de um jogo de ferramentas para produzir uma determinada peça de vidro. Dispõe-se de apenas um jogo de ferramentas para cada tipo de peça de vidro (com exceção do cone cor de 20" que possui dois jogos).

Depois de permanecer por um certo tempo em campanha, o jogo de ferramentas necessita de reparos, não podendo portanto, durante este período retornar à prensa para produção.

### 3.3. Objetivos do trabalho

Em virtude dos tempos de preparação envolvidos no sistema forno/prensas serem bastante elevados, a programação assume um aspecto importante já que estes tempos de preparação altos implicam na manutenção de níveis de estoque elevados, que só podem ser diminuídos à custa da excessiva troca de ferramental nas prensas e tipos de vidro no forno, que ocasiona uma perda na eficiência produtiva. Assim, quanto menor for o custo de preparação incorrido (menos preparações), maiores serão os custos de estocagem no mesmo período. E vice-versa, quanto mais se incorrer em custos de preparação, menores serão os níveis de estoques necessários.

Devem existir pontos de equilíbrio onde a somatória dos custos de estocagem e custos de preparação atinge um valor mínimo. Os custos de produção não devem ser considerados pois eles são comuns a qualquer programação executada, pois o forno precisa funcionar continuamente, mesmo que produzindo sucata.

Em nosso trabalho ficaremos restritos ao problema de programação do sistema fundição/prensagem. Consideraremos estes setores, portanto, de maneira isolada do restante da fábrica. Tal consideração é perfeitamente coerente em virtude dos altos estoques intermediários existentes. Os produtos finais deste sistema serão os produtos que saem das prensas, isto é, telas e cones dos três tipos de vidro produzidos.

O objetivo do trabalho é desenvolver uma metodologia de programação do forno e das prensas que:

- tenha a capacidade de gerar soluções (programas de produção) que pelo menos se aproximem das soluções ótimas, considerado como critério de avaliação a minimização dos custos de preparação e estocagem envolvidos.
- seja de fácil manipulação, condizente com a atual estrutura que o departamento de planejamento industrial dispõe e que não poderá ser alterada a médio prazo.

Já nos referimos anteriormente à reforma que o forno sofrerá no início do próximo ano. Naturalmente, após esta reforma, a fábrica atravessará um período de adaptação até que haja o retorno à normalidade, já que os seus estoques estarão desbalanceados em virtude do grande tempo de paralisação das atividades produtivas.

Conforme veremos adiante, o presente trabalho irá se referir à época posterior a este período de normalização.

4. O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR MISTA

#### 4. O modelo de programação linear mista

As características apresentadas pelo problema nos conduzem a um modelo de programação linear mista.

Procurou-se inicialmente desenvolver um modelo otimi-zante global, que, a partir dos dados de entrada, nos fornecesse diretamente um programa de produção para as prensas. Tal modelo, além de otimizante, seria bastante flexível, buscando a solução ótima para cada situação apresentada na forma de dados de entrada do problema.

Todavia, muitas foram as dificuldades encontradas para a formulação de tal modelo, tal a complexidade do sistema a ser programado e também em virtude das inúmeras restrições envolvidas.

Uma simplificação bastante válida que pode ser feita é uma abordagem hierárquica. O modelo hierárquico apresenta uma característica muito interessante. Apesar de ser formulado com base em técnicas matemáticas otimizantes, esta otimização é feita por partes. Inicialmente, otimiza-se parte da função objetivo através de um modelo matemático. A solução obtida serve como entrada para um segundo modelo através do qual se consegue uma nova solução ótima para outra parte da função objetivo, que pode servir de entrada para outro modelo.

A sub-otimização é o preço que se paga por uma maior simplicidade matemática do modelo.

#### 4.1. Abordagem hierárquica

Podemos dividir o problema da programação do sistema forno/prensas da fábrica em dois níveis:

- a) Nível de item - onde se tomam as decisões sobre os produtos finais das prensas, isto é, telas e cones.
- b) Nível de tipo - onde se tomam as decisões sobre - grupos de itens fabricados com o mesmo tipo de vidro.

O primeiro problema a ser resolvido é o correspondente ao nível de tipos. O resultado será o número de unidades de cada tipo a ser produzido em cada período do horizonte de planejamento. Naturalmente, a solução será dada em termos agregados em relação aos itens.

O segundo problema é o da desagregação ao nível de - itens, onde o resultado é o número de unidades de cada item a ser produzido em cada período do horizonte de planejamento, para cada tipo.

#### 4.2. Considerações iniciais

##### 4.2.1. Decisão a nível de tipo

Neste estágio do modelo será tomada a decisão de programação do forno. Em outras palavras, definiremos a sequência em que serão produzidos os três tipos de vidro, bem como o intervalo de tempo em que cada um dos tipos permanecerá em produção durante o horizonte de planejamento.

É claro que para resolver este problema precisamos - considerar todos os produtos de um mesmo tipo de vidro de forma agregada. Assim sendo, para esta fase do modelo, vamos considerar a existência de apenas - três produtos: peças de vidro do tipo BP, peças de vidro do tipo CC e peças de vidro do tipo TC.

As variáveis que se referem individualmente a cada teila e cone (demanda nos períodos; estoque inicial; custo; taxa horária de produção) devem ser transformados de modo a obtermos os seus valores não mais individualmente, mas de forma agregada, para cada tipo de vidro. Isto deve ser feito porque nesta fase do modelo estamos considerando a fabricação de cada um dos três tipos de vidro e não de cada uma das 14 peças de vidro individualmente.

A taxa de produção, estoque inicial e a demanda deve rão ser fornecidos na unidade adequada, compatível com a produção do forno, isto é, em quilos de vidro e não em número de peças fabricadas. O custo do quilo de cada um dos tipos de vidro deverá ser calculado por uma média ponderada a partir do custo de cada peça de vidro.

Uma atenção particular deve ser dada para o cálculo da taxa de produção agregada. Este valor não deve se restringir à média ponderada da taxa de produção de cada um dos itens (transformada em quilos), mas deve incluir também uma tolerância a fim de levar em consideração o tempo gasto nas futuras preparações das prensas. Naturalmente, não conhecemos este tempo, pois esta decisão será tomada a posteriori (decisão a nível de item). Podemos todavia estimar este valor sem incorrer em erros significativos tomando por base a programação atual. Se estivermos interessados na obtenção de resultados mais precisos, um processo iterativo nos levará a tal. Para tanto, estimamos um valor inicial para o tempo gasto nas preparações das prensas e tomamos a decisão a nível de tipo. A decisão que se segue (nível de item) nos fornecerá o tempo -- gasto nas preparações que estimamos na decisão anterior. Este dado pode servir como entrada para uma nova decisão a nível de item e assim retornamos ao ponto de partida.

*ou de tipo?*

A escolha do horizonte de planejamento é de grande importância no modelo. Naturalmente, quanto maior for o horizonte escolhido, melhor será a qualidade da solução obtida. Tomando por base o ciclo produtivo atual, estimamos que o horizonte de planejamento deva ser de, pelo menos dois anos.

Apesar dos produtos não apresentarem sazonalidade, mantendo uma demanda aproximadamente uniforme, o modelo considerará a demanda de maneira dinâmica, isto é, com valores variáveis no tempo, porém conhecidos, obtendo assim mais flexibilidade no modelo e uma maior garantia de otimização.

Finalmente convém lembrar que estamos fazendo a programação da fabricação de telas e cones e não de bulbos. Portanto, a demanda a que nos referimos é de telas e cones e não de bulbos.

#### 4.2.1.1. Função objetivo

O nosso interesse é voltado para a minimização dos custos de estocagem e preparação.

O custo de preparação é incorrido toda vez que há uma mudança de tipo de vidro no forno. Para se processar esta mudança é necessário alterar-se gradativamente a composição química do vidro, que passa a ser de quali

dade indesajável ocasionando a interrupção da produção das prensas. Isto persiste até que se atinja a composição química ideal do novo vidro, iniciando-se então a produção das prensas. Este tempo de interrupção para troca de vidros é dependente da sequencia de produção, conforme podemos observar na tabela 4.

De \ Para	BP	TC	CC
BP	0	7	4
TC	1	0	4
CC	3	7	0

Tabela 4 - Tempo (dias) para troca de tipos de vidro no forno.

Adaptado dos dados técnicos.

Apesar de não haver estoque do vidro que sai do forno, o custo de estocagem deve ser considerado, pois todo o vidro que sai do forno passa necessariamente pelas prensas e acaba sendo estocado no final deste processo. A produção das prensas está diretamente vinculada à produção do forno já que é impossível a manutenção de um estoque intermediário entre a fundição e a prensagem.

#### 4.2.1.2. Restrições

A demanda deverá ser atendida, não se admitindo faltas.

Isto porque faltas de peças de vidro poderão ocasionar faltas de bulbos que por sua vez poderão dar origem a faltas de cinescópios e de aparelhos televisores. A falta de peças de vidro seria portanto bastante onerosa, bem como seria difícil a determinação de seu custo.

Deverão ser incluídas também restrições limitando a produção à capacidade do forno, afim de obtermos somente programas de produção viáveis.

Uma outra restrição que deve ser observada é a incapacidade do forno produzir mais de um tipo de vidro simultaneamente. Se adotarmos períodos de tempo suficientemente pequenos, poderemos transformar esta restrição na obrigatoriedade de ser produzido apenas um único tipo de vidro por período.

No ítem 4.3.1.4. são tecidos maiores comentários a respeito deste assunto.

#### 4.2.2. Decisão a nível de item

Ao chegar nesta fase, já teremos em mãos a programação do forno, isto é, já conheceremos os períodos em que o forno estará produzindo cada tipo de vidro.

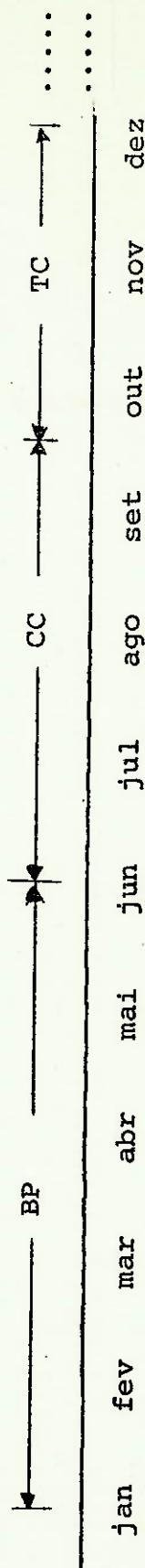


Figura 4 - Exemplo fictício da decisão a nível de tipo.

A decisão que precisa ser tomada agora é a programação das prensas para cada tipo de vidro. Esta decisão deverá ser tomada para cada período de fabricação dos diferentes tipos de vidro, conforme mostrado na figura 4. Portanto o intervalo de tempo que vai ser abrangido por esta decisão já foi fixado na decisão anterior.

Para o vidro TC temos apenas dois jogos de ferramentas (um para cada produto) e duas prensas, restando portanto a única opção de alocar um jogo de ferramentas para cada prensa. Para o vidro CC temos três jogos de ferramentas (um para o cone 26" e dois para o cone de 20"), sendo a programação igualmente fácil.

Já no caso do vidro BP existem 10 jogos de ferramentas (um para cada produto) para serem alocados nas duas prensas, tornando o problema mais complexo.

Os dados utilizados neste modelo deverão ser referentes a cada peça de vidro e não mais agregados por tipo de vidro, como foram no nível de tipos.

Na realidade, o que esta fase do modelo vai executar é a desagregação da programação agregada obtida na decisão anterior.

As considerações feitas no item 4.2.1. com respeito à

demanda são válidas aqui também.

#### 4.2.2.1. Função objetivo



Mais uma vez, deverão ser minimizados os custos de estocagem e de preparação.

O custo de preparação é incorrido toda vez que há troca do jogo de ferramentas em qualquer uma das prensas. O custo de preparação neste caso não é dependente da sequência, porém é diferente para telas e cones e para cada tipo de vidro, existindo portanto um total de quatro diferentes custos de preparação (telas BP, cones BP, TC e CC).

O custo de estocagem já foi considerado no estágio anterior, porém de forma agregada. Nesta fase, para um mesmo tipo de vidro, estaremos lidando com vários produtos de diferentes custos de estocagem e com diferentes demandas e custos de preparação. Desta forma, é necessário que o custo de estocagem seja parte da função objetivo também neste nível de decisão.

#### 4.2.2.2. Restrições

*(Handwritten mark: a large asterisk \*)*

Na decisão anterior, já incluimos uma restrição de não admissão de faltas, porém agregada por tipo de vidro. Aqui, esta restrição deve se repetir, para cada

um dos itens. Tal restrição deve valer tanto para o período de fabricação do tipo do vidro em questão, - quanto para após este período, desde que dentro do horizonte de planejamento fixado na decisão anterior.

Devem ser incluídas também restrições para que sejam respeitadas as capacidades produtivas das prensas.

O jogo de ferramentas, após permanecer por um certo período de tempo em produção necessita de reparos e é encaminhado para a oficina de moldes. Naturalmente, enquanto está na oficina, este jogo de ferramentas - não poderá voltar às prensas e portanto a fabricação daquele produto estará suspensa, até que os reparos tenham sido feitos. O tempo que o ferramental permanece na oficina é função do tempo em que eles ficaram em produção, conforme podemos observar na Tabela 5.

Número de semanas em produção	Número de semanas em recuperação
1 a 4	1
5 a 8	2
9 a 12	3
12 a 16	6

Tabela 5 - Tempo de permanência das ferramentas na oficina em função do tempo que permaneceram em produção.

Elaborado pelo autor.

Com exceção do cone cor de 20" os demais produtos - possuem apenas um jogo de ferramentas para sua produção. Isto significa que enquanto uma prensa estiver fabricando um determinado produto, a outra prensa não poderá estar produzindo este mesmo produto. Esta é mais uma restrição que deve ser incorporada ao modelo.

A exemplo do ocorrido na decisão a nível de tipo (item 4.2.1.2.) aqui também devemos adotar períodos de tempo suficientemente pequenos, e incorporar a restrição da fabricação de apenas um produto por período por - prensa.

#### 4.3. O modelo

##### 4.3.1. Decisão a nível de tipo

###### 4.3.1.1. Definições

$x_{ik}$  - quantidade do produto  $i$  produzido no período  $k$

$X_{ik}$  - produção acumulada do produto  $i$  até o período  $k$  inclusive.

$R_{ik}$  - demanda acumulada do produto  $i$  até o período  $k$  inclusive.

$E_{oi}$  - estoque inicial do produto  $i$

$C_i$  - custo de estocagem do produto  $i$  por unidade por período.

$n$  - número de períodos no horizonte de planejamento.

$s_{ij}$  - custo incorrido na mudança do produto  $i$  para o produto  $j$ .

$a_{ij}$  - tempo de preparação gasto na troca de produção do produto  $i$  para o produto  $j$ .

$$F_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{se foi produzido produto } i \text{ no período} \\ & (k-1) \text{ e produto } j \text{ no período } k, \text{ para todo} \\ i, j; & i \neq j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$b_i$  - tempo padrão para produção de 1 unidade do produto  $i$ .

$L_k$  - tempo disponível de forno no período  $k$ .

$c_e$  - custo de estocagem

$c_p$  - custo de preparação

$C$  - custo total

#### 4.3.1.2. Função objetivo

$$c_e = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^n [E_{oi} + x_{ik} - R_{ik}] \cdot c_i$$

$$c_p = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 s_{ij} F_{ijk}$$

A equação que representa os custos e que deve ser minimizada é:

$$C = \sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^n [E_{oi} + x_{ik} - R_{ik}] \cdot c_i +$$

$$\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 s_{ij} F_{ijk}$$

onde  $F_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{se } x_{ik-1} \neq 0, x_{jk} \neq 0 \text{ e } i \neq j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

#### 4.3.1.3. Restrições

Restrição de atendimento da demanda:

$$E_{oi} + x_{ik} - R_{ik} \geq 0, \quad \text{para todo } i, k;$$

$$i = 1, 2, 3 \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Restrição de capacidade do forno

$$\sum_{i=1}^3 x_{ik} b_i + \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 a_{ij} F_{ijk} \leq L_k$$

para todo  $k; k = 1, 2, \dots, n$

Restrição da produção de um único tipo de vidro por período.

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 F_{ijk} \leq 1 \quad \text{para todo } k; k = 1, 2, \dots, n$$

#### 4.3.1.4. Outras considerações

O tamanho dos períodos "k" deve ser determinado com cuidado para obtermos uma boa solução para o problema. Impusemos a restrição de se produzir apenas um tipo de vidro por período a título de simplificação pois a real restrição deveria ser a de impossibilidade de se produzir mais de um tipo de vidro simultaneamente. Por este motivo, os períodos considerados deverão ser suficientemente pequenos a fim de não obrigar a produção de um tipo por um tempo além do necessário, apenas porque o período "k" é muito grande. O tamanho ideal de cada período seria da ordem de uma ou meia semana, já que o tamanho dos lotes de produção costuma ser múltiplo destes períodos.

Naturalmente, considerar períodos com tamanhos menores do que estes (como por exemplo um dia) só trariam mais precisão aos resultados.

O modelo buscará soluções para todos os "k" períodos compreendidos entre  $k = 1$  (o primeiro) e  $k = n$  (o último período do horizonte de planejamento). Todavia, para que todos os custos sejam computados corretamente na equação de custos, é necessário que seja definido o produto que estava sendo fabricado anteriormente ao período  $k = 1$ , isto é, precisamos fornecer como dados de entrada os valores de  $x_{10}$ ,  $x_{20}$  e  $x_{30}$ .

#### 4.3.2. Decisão a nível de item

Para o caso do vidro BP o modelo apresenta uma particularidade. Telas e cones possuem diferentes tempos de preparação, isto é, peças de um mesmo tipo de vidro com tempo (e custo) de preparação diferentes entre si. Nos outros tipos de vidro (TC e CC) isto não ocorre.

O modelo que formularemos a seguir será o mais genérico possível, isto é, será formulado para o vidro BP. Consideraremos as telas como produtos  $i = 1, 2, \dots, 5$  e os cones como  $i = 6, 7, \dots, 10$ .

##### 4.3.2.1. Definições

$x_{ik1}$  - quantidade do produto  $i$  produzida no período  $k$  na prensa 1

$x_{ik2}$  - quantidade do produto  $i$  produzida no período  $k$  na prensa 2

$x_{ik} = x_{ik1} + x_{ik2}$  = quantidade do produto  $i$  produzida no período  $k$ .

$R_{ik}$  - demanda acumulada do produto  $i$  até o período  $k$  inclusive.

$x_{ik}$  - produção acumulada do produto  $i$  até o período  $k$  inclusive.

$E_{oi}$  - estoque inicial do produto  $i$

$c_i$  - custo de estocagem do produto  $i$  por unidade por período.

$n$  - número de períodos em que vai ser fabricado o vidro BP

$s_1$  - custo de preparação incorrido toda vez que é iniciada a produção dos produtos 1, 2, ..., 5

$s_2$  - custo de preparação incorrido toda vez que é iniciada a produção dos produtos 6, 7, ..., 10

$$F_{ik1} = \begin{cases} 1 & \text{se é produzido produto } i \text{ no período } k \\ & \text{e não foi produzido produto } i \text{ no período} \\ & (k-1), \text{ na prensa 1} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$F_{ik2} = \begin{cases} 1 & \text{se é produzido produto } i \text{ no período } k \text{ e} \\ & \text{não foi produzido produto } i \text{ no período} \\ & (k-1), \text{ na prensa 2} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$p_i$  - previsão da demanda do produto  $i$ , do período  $n$  até o próximo período que o vidro BP for produzido.

$b_i$  - tempo padrão para produção de uma unidade do produto  $i$

$L_{k1}$  - tempo disponível da prensa 1 no período k

$L_{k2}$  - tempo disponível da prensa 2 no período k

$a_1$  - tempo de preparação incorrido toda vez que é iniciada a produção dos produtos 1, 2, ..., 5

$a_2$  - tempo de preparação incorrido toda vez que é iniciado a produção dos produtos 6, 7, ..., 10

$c_e$  - custo de estocagem

$c_p$  - custo de preparação

$C$  - custo total

#### 4.3.2.2. Função objetivo

$$c_e = \sum_{i=1}^{10} \sum_{k=1}^n [E_{oi} + x_{ik} - R_{ik}] c_i$$

$$c_p = \sum_{k=1}^n \left[ \sum_{i=1}^5 s_1 F_{ik1} + \sum_{i=6}^{10} s_2 F_{ik1} \right] + \sum_{k=1}^n \left[ \sum_{i=1}^5 s_1 F_{ik2} + \sum_{i=6}^{10} s_2 F_{ik2} \right]$$

A equação que representa os custos e que deve ser minimizada é:

$$C = \sum_{i=1}^{10} \sum_{k=1}^n \left[ E_{oi} + x_{ik} - R_{ik} \right] C_i + \sum_{k=1}^n$$

$$\left[ \sum_{i=1}^5 s_1 F_{ik1} + \sum_{i=6}^{10} s_2 F_{ik1} \right] +$$

$$\sum_{k=1}^n \left[ \sum_{i=1}^5 s_1 F_{ik2} + \sum_{i=6}^{10} s_2 F_{ik2} \right]$$

$$\text{onde } F_{ik1} = \begin{cases} 1 & \text{se } x_{ik1} \neq 0 \text{ e } x_{ik-1} = 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{e } F_{ik2} = \begin{cases} 1 & \text{se } x_{ik2} \neq 0 \text{ e } x_{ik-1} = 0 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

#### 4.3.2.3. Restrições

Restrição de atendimento da demanda no período de produção do vidro BP

$$E_{oi} + x_{ik} - R_{ik} \geq 0 \quad \text{para todo } i, k; i = 1, 2, \dots, 10 \\ k = 1, 2, \dots, n$$

Restrição de atendimento da demanda após o término do período de produção do vidro BP e até o próximo período em que este vidro for produzido.

$$E_{oi} + x_{ih} - R_{in} \geq p_i, \text{ para todo } i, i = 1, 2, \dots, 10$$

Restrição de capacidade das prensas

$$\sum_{i=1}^{10} x_{ik1} b_i + \sum_{i=1}^5 a_1 F_{ik1} + \sum_{i=6}^{10} a_2 F_{ik1} \leq L_{k1},$$

para todo  $k$ ;  $k = 1, 2, \dots, n$

$$\sum_{i=1}^{10} x_{ik2} b_i + \sum_{i=1}^5 a_1 F_{ik2} + \sum_{i=6}^{10} a_2 F_{ik2} \leq L_{k2},$$

para todo  $k$ ;  $k = 1, 2, \dots, n$

Restrição da não produção do mesmo item nas duas prensas simultaneamente (disponibilidade de apenas um jogo de ferramentas por produto).

$$x_{ik1} \cdot x_{ik2} = 0 \text{ para todo } i, k: i = 1, 2, \dots, 10 \\ k = 1, 2, \dots, n$$

Restrição da produção de um único produto por período por prensa.

$$\sum_{i=1}^{10} F_{ik1} \leq 1 \text{ para todo } k; k = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^{10} F_{ik2} \leq 1 \text{ para todo } k; k = 1, 2, \dots, n$$

Restrição do tempo de permanência do ferramental na oficina de moldes.

Escreveremos apenas as equações correspondentes à primeira linha da tabela 5, item 4.2.2.2. As demais equações são análogas.

Se

$$x_{ik} \neq 0 \text{ e } x_{ik-1} = 0 \text{ então } x_{ik+1} = 0 \text{ para todo } i, k; \\ i=1, 2, \dots, 10 \\ k=2, 3, \dots, n$$

$$\prod_{j=k-1}^k x_{ij} \neq 0 \text{ e } x_{ik-2} = 0 \text{ então } x_{ik+1} = 0 \text{ para todo } i, k; \\ i = 1, 2, \dots, 10 \\ k = 3, 4, \dots, n$$

$$\prod_{j=k-2}^k x_{ij} \neq 0 \text{ e } x_{ik-3} = 0 \text{ então } x_{ik+1} = 0 \text{ para todo } i, k; \\ i = 1, 2, \dots, 10 \\ k = 4, 5, \dots, n$$

$$\prod_{j=k-3}^k x_{ij} \neq 0 \text{ e } x_{ik-4} = 0 \text{ então } x_{ik+1} = 0 \text{ para todo } i, k; \\ i = 1, 2, \dots, 10 \\ k = 5, 6, \dots, 10$$

#### 4.3.2.4. Outras considerações

A exemplo do ocorrido na decisão anterior, precisamos fornecer, a título de dados de entrada a situação inicial do problema. Neste caso porém, no período  $k = 0$  não foi fabricado nenhum item do vidro BP (estava sendo produzido outro tipo de vidro). Os dados a serem fornecidos, portanto devem ser:  $X_{10} = 0$ ;  $X_{20} = 0$ ; ...  $X_{100} = 0$

A previsão da demanda do produto  $i$  até o próximo período de fabricação do vidro BP ( $P_i$ ), representa o estoque final necessário no final de um período de fabricação do vidro BP, para não haver falta durante os períodos subsequentes em que este vidro não for fabricado.

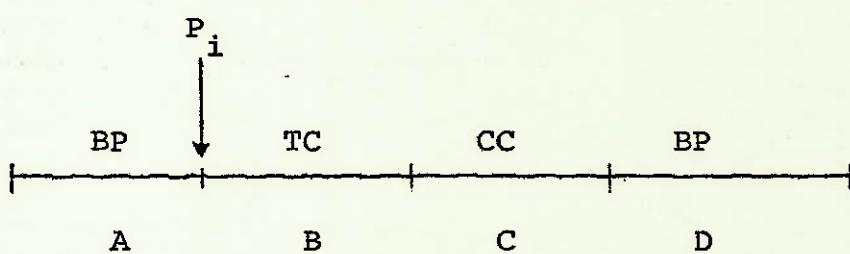


Figura 5 - Exemplo fictício de uma programação do forno.

Assim, tomando por base o exemplo da figura 5,  $P_i$  representa o estoque de cada item no final do período A, necessário para atender a demanda nos períodos B e C,

onde estes itens não serão produzidos. Todavia, não sabemos em que época do período D cada item será produzido. Assim, não poderemos saber a quantia exata que vai ser demandada para cada item a fim de fixarmos o valor de  $P_i$ . Haveria a necessidade de incluir na demanda durante os períodos B e C uma margem de segurança, a fim de que os estoques dos diversos itens não chegassesem a zero logo no início do período D, obrigando a produção de pequenos lotes apenas para evitar faltas.

Como, por norma da empresa, a fábrica trabalha com um estoque de segurança para cada item, este fato deixa de ser relevante. Poderemos portanto, considerar  $P_i$  como a soma da demanda de cada item durante os períodos B e C. Eventualmente, para algum produto cujas saídas de estoque venham sendo superiores às previsões, poderemos solucionar o problema simplesmente aumentando o valor de  $P_i$  de uma quantia conveniente.

#### 4.4. Conclusões

Problemas de programação linear mista apresentam enormes dificuldades para sua resolução em computadores, especialmente no tocante à variável descontínua  $F_{ijk}$ .

Neste caso particular, existe o agravante de precisarmos trabalhar com horizontes de planejamento grandes

(da ordem de 100 semanas). Uma solução para este modelo, se possível, teria um custo proibitivo. Da mesma forma, a implantação de um sistema computarizado para as finalidades a que este sistema se propõe está fora dos planos da empresa, pelo menos por ora.

Contudo, se no futuro a utilização de tal modelo se tornar compatível com a realidade da empresa, um grande passo para sua implantação já foi dado.

Um outro mérito que pode ser atribuído ao modelo apresentado neste capítulo é a visão do problema que ele nos forneceu.

O equacionamento matemático de todas as situações - reais e que foram representadas através da função objetivo e das restrições facilita bastante a compreensão do problema, bem como nos obriga a estudar todas as variantes possíveis na programação, facilitando assim a idealização de um novo modelo, menos sofisticado, porém viável para implantação.

Este outro modelo está descrito no capítulo seguinte.

5. UM MODELO SIMPLIFICADO

## 5. Um modelo simplificado

Procuraremos nesta seção desenvolver um modelo cuja aplicação prática e consequente implantação seja viável e compatível com a realidade que o departamento de planejamento industrial da Ibrape Capuava vive hoje.

### 5.1. Considerações iniciais e restrições impostas

A exemplo do modelo do item anterior, iremos tomar as decisões em dois níveis. No primeiro nível, existirá um modelo de programação agregada para o forno. Em seguida, a desagregação e consequente programação das prensas.

Assim fazendo, estaremos incorrendo em sub otimização. Todavia, esta é uma maneira viável de se simplificar o modelo a fim de torná-lo exequível.

No modelo anterior, incluimos a possibilidade de se considerar a demanda como sendo dinâmica, a fim de dar maior flexibilidade ao modelo. Já aqui, não consideraremos esta hipótese. A demanda será tratada - portanto como sendo constante no tempo. Tal hipótese é bastante realista pois as previsões de venda chegam à fábrica na forma de um número estimado de peças a

serem vendidas por ano, sem uma previsão mensal. Tão pouco existe uma sazonalidade comprovada na demanda de peças de vidro. É claro que esta demanda não é rigorosamente igual mês a mês. Porém, o estoque de segurança com que a fábrica opera nos oferece uma garantia para aceitarmos esta consideração.

Apesar da sazonalidade existente na venda de aparelhos televisores, a demanda de peças de vidro para bulbos não chega a ser afetada. Isto é facilmente explicável se olharmos para a figura 3, item 3.1. e constatarmos a existência de vendas de peças de vidro, bulbos e cinescópios para outros mercados, além do consumido pela própria Philips.

### 5.2. Decisão a nível de tipo

O problema é determinar qual deve ser o tamanho dos lotes de produção para os diferentes tipos de vidro e como eles devem ser programados a fim de minimizar o custo total de estocagem e preparação.

Dividiremos o problema em duas etapas:

- determinação da sequência de produção dos tipos de vidro que minimiza os tempos de preparação
- determinação do tamanho dos lotes que minimiza os custos de estocagem e preparação.

### 5.2.1. Sequência ótima

A tarefa de minimizar a soma de tempos (ou custos) de preparação corresponde ao que é geralmente denominado de problema do caixeiro viajante. Este problema é apresentado como uma situação em que um vendedor precisa visitar cada uma de  $n$  cidades, apenas uma vez, e retornar ao seu ponto de origem, de maneira que minimize a distância total percorrida (ou tempo, ou custo etc.). Cada cidade corresponde a um serviço que deve ser executado em uma máquina, e a distância entre as cidades corresponde ao tempo de preparação entre um serviço e o outro.

Existem inúmeros algoritmos capazes de resolver o problema do caixeiro viajante. Todavia, não nos será necessário recorrer a eles em virtude do pequeno número de produtos (apenas três) envolvidos neste caso.

Considerando-se que uma vez iniciada a produção do forno, os tipos de vidro vão se alternando continuamente por um período de tempo bastante grande, existem apenas duas sequências possíveis: ...; BP; TC; CC; .... e ....; BP; CC; TC; ....

Com os dados da tabela 4, item 4.2.1.1., calculamos o tempo de preparação incorrido cada vez que um ciclo é completado (tabela 6).

Alternativa	Tempos de preparação incorridos (dias)	Tempo total de preparação (dias)
BP; TC; CC; BP	7; 4; 3	14
BP; CC; TC; BP	4; 7; 1	12

Tabela 6 - Escolha da sequencia que minimiza o tempo de preparação no forno

Adaptado dos dados técnicos.

A sequência ..., BP; CC; TC; ... apresenta o menor tempo de preparações. Escolhida a melhor sequência de produção, resta agora determinar o tamanho dos lotes.

#### 5.2.2. Tamanho ótimo do ciclo

Partindo-se do pressuposto de que a sequência de produção já foi fixada, os três tipos de vidro se alternarão no forno obedecendo a um ciclo.

O modelo adotado é voltado para a determinação do comprimento ótimo do ciclo de produção, onde comprimento do ciclo é definido como sendo o tempo decorrido entre uma e outra produção de um mesmo tipo de vidro.

No chamado "modelo de rotação cíclica", nós podemos de

terminar lotes que são facilmente programados sem incorrer em faltas. Numa rotação cíclica, todos os produtos obedecem ao mesmo tempo de ciclo,  $T$ , e durante um intervalo de comprimento  $T$ , um lote de cada tipo de vidro é produzido no forno. Os tipos de vidro são fabricados na sequência já definida no item anterior, que é repetida a cada ciclo.

#### Estoque

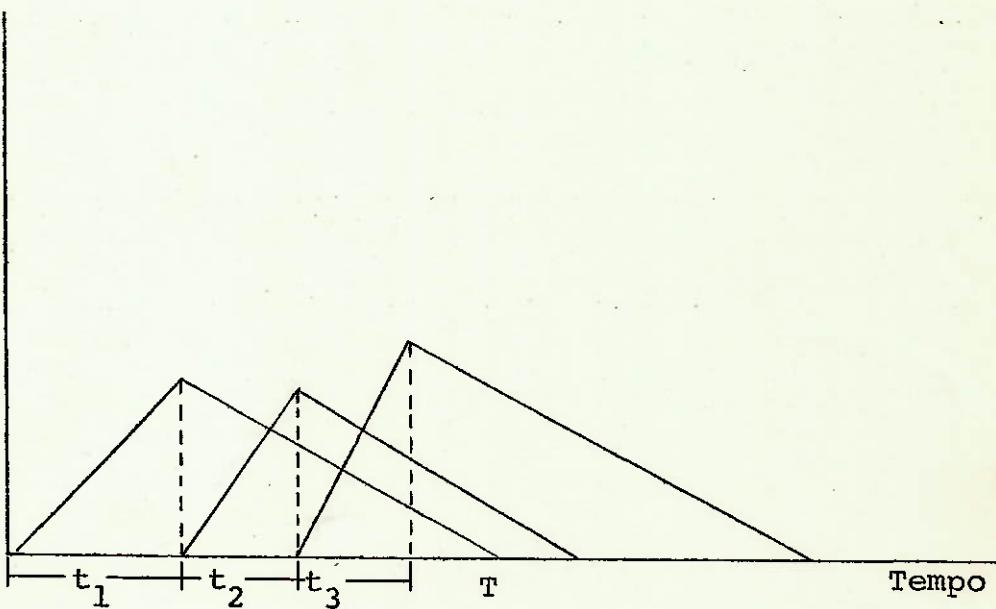


Figura 6 - Ciclo de produção dos 3 tipos de vidro

Vamos definir:

$s_i$  - custo de preparação do produto  $i$

$c_i$  - custo de estocagem por unidade por unidade de tempo do produto  $i$

$T$  - comprimento do ciclo .

$t_i$  - tempo gasto na produção do produto  $i$  durante um ciclo.

$r_i$  - demanda por unidade de tempo do produto  $i$ .

$p_i$  - taxa de produção por unidade de tempo do produto  $i$ .

O tamanho dos lotes de produção,  $q_i$ , pode ser definido como:

$$q_i = p_i t_i = r_i T \quad 5.1$$

ou

$$t_i = \frac{r_i}{p_i} T = \beta_i T \quad 5.2$$

onde

$$\beta_i = \frac{r_i}{p_i} \quad 5.3$$

O custo total por ciclo é:

$$\sum_{i=1}^3 \left[ s_i + T \frac{c_i}{2} (p_i - r_i) t_i \right] \quad 5.4$$

Substituindo  $t_i$  da equação 5.2 e dividindo pelo comprimento do ciclo  $T$ , nós obtemos a expressão do custo por unidade de tempo,  $C$ :

$$C = \sum_{i=1}^3 \left[ \frac{s_i}{T} + T \frac{c_i r_i}{2} (1 - \beta_i) \right] \quad 5.5$$

Derivando-se a expressão 5.5 e igualando-a a zero, chegamos à expressão do comprimento ótimo do ciclo e consequentemente dos tamanhos ótimos dos lotes de produção.

$$T_1 = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^3 s_i}{\sum_{i=1}^3 c_i r_i [1 - \beta_i]}} \quad 5.6$$

e

$$q_i = r_i T_1 \quad 5.7$$

Todavia, antes que nós possamos adotar  $T_1$  como o tamanho do ciclo, é preciso considerar o tempo requerido para as preparações (troca de vidro) durante o ciclo. Chamemos de  $a_i$  o tempo de preparação incorrido para o início da produção do produto  $i$ . A seguinte restrição deve ser atendida:

$$\sum_{i=1}^3 [a_i + t_i] \leq T \quad 5.8$$

Substituindo 5.2 em 5.8

$$\sum_{i=1}^3 [a_i + \beta_i T] \leq T \quad 5.9$$

ou

$$T (1 - \sum_{i=1}^3 \beta_i) \geq \sum_{i=1}^3 a_i \quad 5.10$$

Se a restrição dada pela equação 5.10 for verdadeira para  $T = T_1$ , então a solução será dada pela equação

5.6. Caso contrário, a restrição será ativa e a solução será dada por

$$T_2 = \frac{\sum_{i=1}^3 a_i}{1 - \sum_{i=1}^3 \beta_i} \quad 5.11$$

Portanto, a solução ótima  $T^*$  é dada por

$$T^* = \max \{T_1, T_2\} \quad 5.12$$

A expressão 5.12 nos fornece a solução para a programação do forno. A solução ótima é dada pela equação 5.6. Porém, esta solução não necessariamente é viável pois é preciso levar em consideração o tempo gasto nas trocas de tipo de vidro no forno. Quando este tempo de preparações interferir na solução ótima, tornando-a inviável, então valerá a solução dada pela expressão 5.11, que é o comprimento do ciclo viável mais próximo possível da solução ótima. Se observarmos na

figura 7, se  $T_2$  estiver no ponto  $T' < T_1$ , então

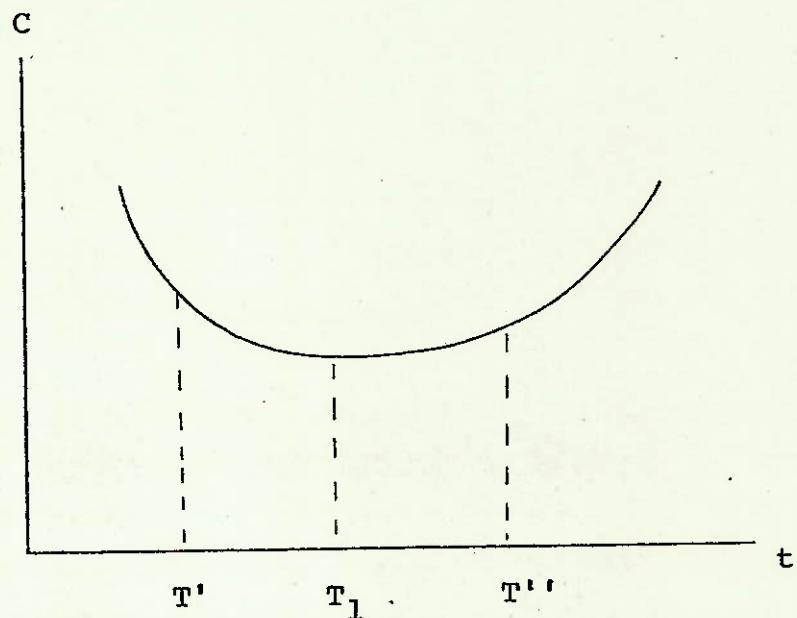


Figura 7 - Determinação do ciclo ótimo

$T_1$  é viável e é a solução. Entretanto, se

$T_2$  estiver no ponto  $T'' > T_1$ ,  $T_1$  não é viável e  $T_2$

é, dentre todas soluções viáveis de  $T$ , a de mais baixo custo.

Naturalmente, estamos assumindo neste modelo que a capacidade produtiva do forno é maior que a demanda, ou seja

$$\sum_{i=1}^3 \beta_i < 1. \quad 5.13$$

Caso a capacidade produtiva fosse menor ou igual à demanda, a programação sem faltas seria inviável, até mesmo no caso da igualdade, já que não haveria tempo

disponível para as preparações.

### 5.3. Decisão a nível de item

A desagregação dos tipos deve obedecer ao ciclo estabelecido anteriormente. Assim, a quantidade de cada item que vai ser produzida deve ser suficiente para a tender à demanda durante um período de tempo igual a  $T^*$ . Naturalmente, é conveniente produzir esta quantidade em apenas um lote para cada item, a fim de minimizarmos os custos de preparação incorridos nas preensas.

A quantidade de cada item a ser produzido é, portanto:

$$q_i = r_i T^* \quad 5.14$$

O tempo necessário para a produção destas quantidades é dado por:

$$t_i = \frac{q_i}{p_i} \quad 5.15$$

A sequência com que estes lotes devem ser produzidos é indiferente na composição dos custos de preparação e estocagem, já que os custos de preparação são independentes da sequência e o nível de estoques varia ciclicamente.

Esta indiferença é sem dúvida um ponto positivo do modelo, já que com isto temos a flexibilidade de produzir em primeiro lugar, os itens mais convenientes, isso é, aqueles que apresentam menores níveis de estoques, deixando aqueles com estoques mais altos para serem produzidos no final do período de produção de cada tipo de vidro. Isto vale, obviamente, para o vidro BP, já que para os vidros TC.e CC, o número de itens é reduzido.

As restrições que foram apresentadas, discutidas e formuladas no modelo de programação linear mista, são, sem excessão, respeitadas neste modelo.

A restrição de não admissão de faltas é cumprida item a item pela equação 5.14.

A capacidade produtiva das máquinas é um dado de entrada no modelo, e portanto não são gerados programas de produção inviáveis.

A restrição de permanência do ferramental na oficina de moldes após a produção nas prensas é cumprida, pois cada item é produzido apenas uma vez por ciclo. É claro que, se o ciclo ótimo for pequeno, haverá problemas para o cumprimento desta restrição. Todavia, conforme veremos no próximo capítulo, dada a ordem de -

grandeza do tamanho do ciclo e do tempo que as ferramentas necessitam permanecer em reparo, não encontraremos problemas quanto a esta restrição.

#### 5.4. Conclusões

Se por um lado, este modelo proposto parte de várias hipóteses que simplificam a obtenção de soluções, afastando-as do ótimo, por outro lado, esta própria simplicidade é um dos pontos mais fortes do modelo.

Assim, temos dois motivos para considerar este modelo como solução para os objetivos propostos neste trabalho:

- apesar das soluções geradas não serem ótimas, elas são baseadas em técnicas matemáticas que asseguram a obtenção de soluções satisfatórias e possibilitam a comparação de seus resultados com outros planos de produção, em termos de custo.
- não poderíamos desenvolver um sistema mais sofisticado pois o departamento de planejamento industrial da Ibrape Capuava dispõe de apenas uma pessoa, em período parcial, para desenvolver e acompanhar os programas de produção, não dispondo de qualquer recurso mais sofisticado para tanto.

No próximo item, iremos utilizar o modelo para executar uma programação. Uma série de comentários adicionais serão feitos durante o decorrer daquele item.

6. EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO



## 6. Exemplo de Programação

Vamos, a seguir, elaborar um programa de produção fundamentado no modelo apresentado no capítulo 5.

Para dar um caráter mais realista a esta tarefa, iremos desenvolver esta programação para o ano de 1980.

Isto porque, conforme já foi dito anteriormente, no próximo ano o forno entrará em reformas e por um bom período de tempo ficará inativo. A produção no restante do ano de 1979 servirá apenas para equilibrar os estoques e levá-los a um nível ideal para no início de 1980 ser iniciada a produção em ritmo normal.

### 6.1. Coleta de dados

O departamento TEO, juntamente com a administração, elabora anualmente um orçamento de despesas para todos os departamentos da fábrica. Todos os custos envolvidos neste trabalho foram extraídos do orçamento 1979 e estão expressos em moeda de 01/07/1978.

Os dados técnicos (taxas de produção dos equipamentos e tempos de preparação) foram retirados dos arquivos do departamento TEO. Estes valores são uma estimativa para após a reforma do forno. Alguns destes dados provêm da própria fábrica e outros (em especial dos novos produtos que começarão a ser fabricados) vem de outras

fábricas de bulbos da Philips no exterior.

Finalmente, as taxas da demanda dos diversos produtos foram obtidas junto às previsões de vendas para 1980, fornecidas pela área comercial.

#### 6.1.1. Custos envolvidos

##### 6.1.1.1. Custos de preparação

Neste trabalho, consideraremos como custo de preparação apenas o custo de equipamento e homens parados. Não consideraremos o custo burocrático da emissão de ordens, já que elas não existem. Isto porque não são emitidas ordens de produção frequentemente, mas sim, é elaborado um programa de produção anualmente, e o custo da elaboração destes programas pode ser considerado como uma despesa fixa da fábrica, não variando com o número de programações elaboradas.

O forno parado, implica na paralisação das duas prensas. Como no orçamento, o custo da hora forno é atribuído ao custo da hora prensa, o custo da hora parada do forno é igual a duas vezes o custo da hora parada de uma prensa. Este valor é, segundo o orçamento, igual a Cr\$.... 8.800. Portanto, o custo de uma hora parada de forno é igual a Cr\$ 17.600.

Podemos assim calcular o custo das trocas de tipo de vidro no forno.

TROCA de	TROCA para	TEMPO DE TROCA (dias)	CUSTO POR HORA DA PARALISAÇÃO (mil Cr\$)	CUSTO DA TROCA (mil Cr\$)
BP	CC	4	17,60	1.689,60
CC	TC	7	17,60	2.956,80
TC	BP	1	17,60	422,40

Tabela 7 - Custos de preparação incorridos no forno

Adaptado do orçamento e dos dados técnicos de produção.

Estes custos, expressos na tabela 7 representam as despesas e os custos de oportunidade incorridos durante o tempo que o equipamento permanece inativo.

#### 6.1.1.2. Custo de estocagem

Consideraremos como custos de estocagem apenas aqueles custos que variam com o valor dos estoques, excluídos os estoques de segurança. Neste caso, o custo de estocagem é dado pela soma do custo de capital e do custo de armazenagem.

A taxa de capital representa o custo da oportunidade perdida por se manter um certo capital investido em es-

toque. A taxa anual estabelecida pela Philips como custo de capital é de 7,5% ao ano.

Na taxa de armazenagem, devemos incluir duas componentes distintas: uma taxa de seguros e uma taxa de manuseio. Os prêmios de seguros são pagos a uma razão de 0,5% do valor estocado por ano. A taxa de manuseio refere-se aos demais custos variáveis incorridos na manutenção dos estoques, como por exemplo obsolescência, - quebras, gastos com movimentação e materiais auxiliares. Esta taxa foi calculada somando-se todas estas despesas durante um ano e dividindo-as pelo valor do estoque médio. Obtivemos o valor de 5,5%.

Assim, a taxa anual de estocagem por cruzeiro é calculada somando-se suas parcelas. O valor obtido é 13,5%.

taxa de capital	7,5%
taxa de armazenagem: seguro	0,5%
manuseio	5,5%
taxa de estocagem	13,5%

Não consideraremos o custo de alojamento (área) em virtude dos estoques serem armazenados em pequenos pátios que se encontram espalhados pela fábrica e que não apresentam nenhuma utilização alternativa caso fossem liberados por uma eventual redução de estoques.

### 6.1.2. Dados técnicos de produção e demanda

Na tabela 8 são encontrados os dados referentes aos itens. Os dados agregados, encontrados na tabela 9 são calculados a partir da tabela 8.

Uma importante observação deve ser feita: naturalmente o custo das preparações nas prensas deve ser levado em consideração no cálculo do tamanho ótimo do ciclo de produção. Como, em cada ciclo, cada item é produzido uma e apenas uma vez, é imediata a determinação do custo das preparações nas prensas para cada tipo de vidro em cada ciclo. Estes valores devem ser somados ao custo de preparação de cada vidro, pois toda vez que foi iniciada a produção de um tipo de vidro, estes custos de preparações nas prensas que a cabamos de mencionar, fatalmente vão ser incorridos.

Assim,  $s_i$  pode ser definido como o custo da troca de vidro mais o custo das trocas de ferramental nas prensas, para o vidro  $i$ .

Na tabela 7 estão os custos da troca de vidro no forno. No vidro BP são gastos 220 horas por ciclo com preparações - (da tabela 8), o que nos dá um custo de Cr\$ 1.936.000. No vidro CC são gastos 80 horas, correspondentes a um custo de Cr\$ 704.000 e no vidro TC não há preparações de ferramental durante a produção. Na tabela 9 estão os valores - de  $s_i$ .

A seguir são fornecidas maiores explicações sobre estas trocas de ferramental.

Peças de vidro	TAXA DE PRODUÇÃO (mil peças/ano)	DEMANDA (mil peças/ano)	PESO UNIT. (kg)	% DA DEMANDA TOTAL (PESO) POR TIPO DE VÍDRO	CUSTO UNIT. (Cr\$)	TEMPO DE PREPARAÇÃO NA PRENSA (horas)
BP (telas)	12"	4.907,52	297	1,70	3,21	28,26
	17"	3.983,04	428	3,80	10,34	48,23
	20"	3.058,56	394	5,40	13,52	60,51
	23"	3.006,72	31	8,70	1,71	85,48
	24"	3.006,72	652	8,70	36,06	85,48
BP (cones)	12"	6.298,56	291	0,95	1,76	21,31
	17"	5.158,08	416	1,90	5,02	29,55
	20"	4.294,08	386	3,00	7,36	37,98
	23"	3.913,92	36	4,95	1,13	48,25
	24"	3.913,92	632	4,95	19,89	48,25
CC	20"	2.142,72	743	4,00	72,17	74,00
	26"	2.255,04	191	6,00	27,83	84,00
TC	20"	1.425,60	302	7,10	47,44	197,29
	26"	889,92	198	12,00	52,56	266,12

TABELA 8 - Dados técnicos de produção e demanda por item.

Adaptado dos dados técnicos de produção.

As taxas de produção dos tipos de vidro da tabela 9 ( $p_i$ ) foram calculadas segundo uma média ponderada das taxas de produção da tabela 8, transformados em quilos.

No caso de vidro BP, todavia, o rendimento do forno deve ser menor pois existe o tempo perdido em preparações nas prensas para troca de ferramentas dos diversos itens e que aparecem na última coluna da tabela 8. Calculamos este rendimento como sendo 83%, baseados na programação atual. Após termos realizado a programação dos itens, calculamos o rendimento e constatamos que a estimativa do rendimento estava correta.

Tipo de vidro	Taxa de produção $p_i$ (ton/ano)	Demanda $r_i$ (ton/ano)	$\beta_i$		$s_i$ (Cr\$/kg)	Custo (Cr\$/kg)	Taxa de estocagem	Custo de estocagem
			$a_i$ (dias)	$\beta_i$				
BP	32.127,37	15.732,45	0,49	1	2.358,40	12,65	13,5%	1,71
CC	18.110,95	4.118,00	0,23	4	2.393,60	17,25	13,5%	2,33
TC	20.829,33	4.520,20	0,22	7	2.956,80	24,84	13,5%	3,35

Tabela 9 - Dados técnicos de produção e demanda por tipo  
Calculado a partir da tabela 8.

No caso do vidro TC o rendimento é de 100% já que não existe troca de ferramentas durante o período de produção. A única troca de ferramentas é feita durante a troca de tipo de vidro (de CC para TC), no início do período de produção. Como o tempo para troca de tipo de vidro é maior que o tempo para troca de ferramentas e estas operações podem ser efetuadas simultaneamente, após concluída a troca do vidro e iniciada a sua produção, as ferramentas já terminaram de ser trocadas e ajustadas, estando portanto o equipamento em condições de iniciar a produção das peças de vidro.

Para o vidro CC, apesar de serem apenas dois os itens, há necessidade de troca de ferramentas depois de iniciada a produção das peças de vidro, pois a demanda do cone de 20" é muito maior que a demanda do cone de 26", o que obriga a produção de uma prensa ser ininterruptamente de cone 20" e da outra prensa parte de cone 20", parte de cone 26", havendo consequentemente uma troca de ferramentas (conforme já foi citado, o cone de 20" é o único item que possui dois jogos de ferramentas para sua produção). A exemplo do que foi feito para o vidro BP, calculamos o rendimento como sendo 91%. Constatamos posteriormente que esta estimativa estava certa.

O custo do quilo de vidro é calculado por uma média - ponderada do custo de cada peça de vidro. Estes valo-

res estão apresentados na tabela 9.

A manutenção e os reparos necessários para o bom funcionamento das prensas são executados durante a troca de ferramentas, e por isso não é necessário considerar estes tempos à parte. O forno sofre revisões somente a cada quatro anos.

Finalmente, dois fatos devem ser mencionados: em primeiro lugar, as taxas de produção da tabela 8 são relativas a uma prensa e as taxas da tabela 9 são relativas a um forno, capaz de alimentar duas prensas. Portanto, quando calcularmos a taxa de produção agregada, multiplicamos por dois todas as taxas de produção da tabela 8. Em segundo lugar, as taxas de produção acima referidas são taxas líquidas, isto é, já foram descontadas as porcentagens de peças refugadas. São fornecidos portanto as taxas de produção de peças boas por unidade de tempo.

#### 6.2. Decisão a nível de tipo.

Calcularemos  $T_1$  e  $T_2$  através das equações correspondentes (5.6 e 5.11). Os dados utilizados encontram-se na tabela 9.

Os valores encontrados foram:

$$T_1 = 246 \text{ dias}$$

$$T_2 = 182 \text{ dias}$$

Portanto:

$$T^* = \max \{246; 182\} = 246 \text{ dias}$$

Assim, o ciclo ótimo é de 246 dias.

O cálculo do tamanho de cada lote, bem como do tempo necessário para sua produção é imediato, pelas equações 5.1 e 5.2. Estes resultados estão na tabela 10.

VIDRO	$q_i$ (ton.)	$t_i$ (dias)
BP	10.750,51	120
CC	2.813,97	56
TC	3.088,80	53

Tabela 10 - Quantidades a serem produzidas no forno  
Elaborado pelo autor.

É importante observar o tempo total gasto no ciclo. Assim, temos:

		tempo (dias)
preparação	BP	1
produção	BP	120
preparação	CC	4
produção	CC	56
preparação	TC	7
produção	TC	53
	total	241

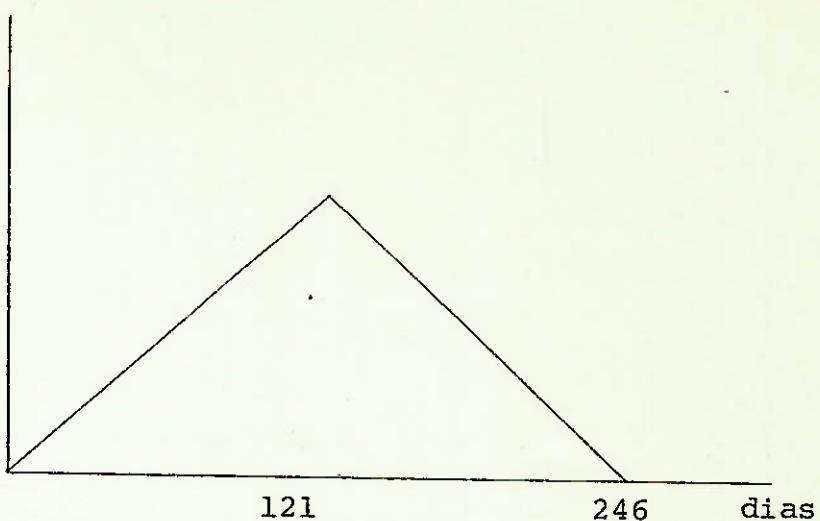
Portanto, durante cada ciclo existe uma folga de cinco dias. Esta folga é benéfica pois representa uma margem de segurança para cobrir possíveis diferenças entre os tempos necessários para a produção dos dois itens do vidro TC. Isto porque o valor obtido na tabela 10 é agregado. Quando da desagregação, eventualmente o tempo de produção de um dos itens pode ser um pouco maior que o tempo de produção do outro produto. Porém, se isto ocorrer, não será de forma acentuada, pois se assim fosse haveria outro conjunto de ferramentas do produto que demandasse maior tempo de produção, a exemplo do que ocorre no vidro CC.

Estoque

BP

(ton)

5465

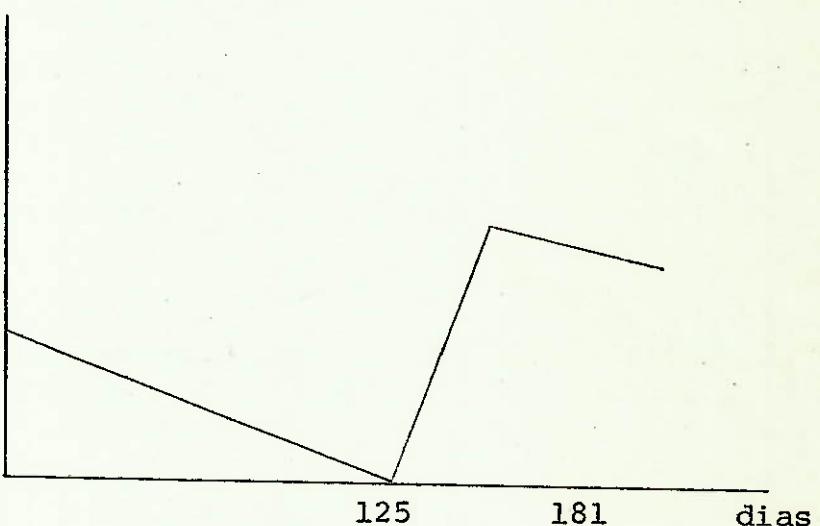


Estoque

CC

(ton)

2177



Estoque

TC

(ton)

2401

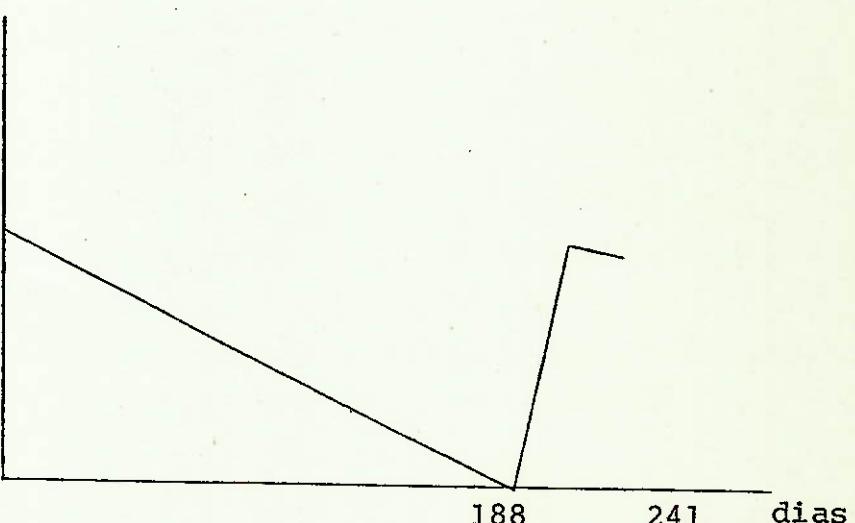


Figura 8 - Comportamento do nível de estoques (exce-  
to estoque de segurança) para os três ti-  
pos de vidro.

### 6.3. Decisão a nível de item

As quantidades a serem fabricadas, bem como o tempo requerido de prensa para a produção destes lotes são fornecidos pelas equações 5.14 e 5.15. Os dados utilizados estão na tabela 8. Na tabela 11 estão os valores encontrados:

PEÇAS DE VIDRO		$q_i$ (mil unid.)	$t_i$ (dias)
BP (telas)	12"	202,95	15
	17"	292,47	26
	20"	269,23	32
	23"	21,18	3
	24"	445,53	53
BP (cones)	12"	198,85	11
	17"	284,27	20
	20"	263,77	22
	23"	24,60	2
	24"	431,87	40
CC	20"	507,72	85
	26"	130,52	21
TC	20"	206,37	52
	26"	135,30	55

Tabela 11 - Quantidades a serem produzidas por item.  
Elaborado Pelo Autor

Resta agora alocar cada lote de produção a uma prensa. Devemos apenas ter cuidado para dividir os lotes entre as prensas equitativamente em termos de tempo, no caso do vidro BP. Na tabela 12 está mostrada a sequência de produção por prensa.

	PRENSA I	PRENSA II		
	PRODUTO	$t_i$ (dias)	PRODUTO	$t_i$ (dias)
BP	tela 12"	15	tela 17"	26
	tela 20"	32	tela 24"	53
	tela 23"	3	cone 12"	11
	cone 17"	20	cone 20"	22
	cone 23"	2	-	-
	cone 24"	40	-	-
	tempo total		tempo total	
CC	das trocas	7	das trocas	5
	tempo total	117	tempo total	117
	cone 26"	21	cone 20"	54
	cone 20"	31	-	
	tempo da troca	3	-	
EC	tempo total	55	tempo total	54
	tela 20"	52	tela 26"	55
	tempo total	52	tempo total	55

Tabela 12 - Sequência de fabricação e tempo de fabricação dos lotes.

Elaborado pelo autor.

7. CONCLUSÕES

## 7. Conclusões

Tendo-se chegado ao final deste trabalho, poderemos agora avaliar os benefícios que ele trará à empresa.

A programação atualmente é feita obedecendo a um ciclo, com a mesma sequência de produção do modelo apresentado no item 5, porém com tamanho diferente. O ciclo atual é de um ano, e foi escolhido sem nenhum outro fundamento que não a intuição.

Por este motivo, o modelo adotado representa, além das economias que ele fatalmente trará, uma certeza de que a programação estará sendo realizada de uma maneira prática e econômica, ao contrário do que vinha sendo realizado anteriormente, e que obrigava o Departamento de Planejamento Industrial a se basear em argumentos infundados para conseguir a aceitação de seus planos de produção junto à direção da indústria.

O ciclo a que chegamos é menor que um ano (246 dias). Portanto, a economia obtida será referente a custos de estocagem, já que os custos de preparações por unidade de tempo serão maiores.

O custo anual de cada uma das alternativas pode ser calculado pela equação 5.5.

Custo anual atual Cr\$ 24.203.011

Custo anual da alterna-  
tiva proposta: Cr\$ 22.552.215

A economia anual prevista é portanto de Cr\$ .....  
1.650.793.

Apesar de ser uma quantia modesta, se levarmos em con-  
sideração o custo da elaboração deste trabalho, que  
foi baixo, e considerarmos que esta economia se repe-  
te anualmente, podemos considerar satisfatórios os  
resultados obtidos.

BIBLIOGRAFIA

- Ackoff, Russel L. e Sasieni, Maurice W. - Pesquisa Operacional - Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 1971.
- Boucinhas e Campos Consultores - Planejamento, Programações e Controle da Produção, apostila.
- Buffa, Elwood S. e Taubert, William H. - Production Inventory Systems. Planning and Control - Richard D. Irwin, Inc., 1972.
- Ellenrieder, Alberto Ricardo von - Pesquisa Operacional - Rio de Janeiro - Almeida Neves Editora Ltda., 1971.
- Johnson, Lynwood A. e Montgomery, Douglas C. - Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control - New York, John Wiley and Sons, Inc., 1974.
- Hansmann, Fred - Operations Research in Production and Inventory Control - New York, John Wiley and Sons, Inc., 1962.

A N E X O

### Uma análise da redução de custos de preparações

Durante a elaboração deste trabalho, um fato chamou a atenção: os altos tempos de preparação, tanto no forno quanto nas prensas.

A preparação do forno consiste na substituição das matérias primas que o alimentam e análises químicas consecutivas, até a obtenção da qualidade desejada do vidro. Dificilmente, através de uma análise mais detalhada, seria possível conseguir a redução destes tempos de preparação.

Já, no caso das trocas de ferramentas, isto talvez seja possível. O tempo para estas trocas de ferramentas já foi reduzido anteriormente, no caso de telas de 60 para 30 horas e no caso de cones de 40 para 25 horas, mediante treinamento mais intenso do pessoal. Por isso, somos levados a crer na possibilidade de uma nova redução do tempo necessário para trocas de ferramentas nas prensas. Este tempo é formado por duas componentes distintas: a troca das ferramentas propriamente dita e a posterior aferição delas, até que as tolerâncias necessárias nas medidas das peças sejam obtidas. Em ambos os casos, uma análise detalhada envolvendo estudo de tempos e métodos, padronização de componentes, elaboração de normas e manuais, poderia levar a uma redução do tempo gasto na troca destas ferramentas.

Iremos portanto analisar quais seriam as consequências, em termos de redução de custo, de uma possível melhoria destes tempos.

Admitindo que os demais fatores permaneçam constantes, calcularemos o tamanho ótimo do ciclo e seu custo anual para as três alternativas seguintes: redução do tempo de preparação nas prensas em 10%, 20% e 30% respectivamente.

	custo	economia anual em relação à alter- nativa	proposta
	ciclo (dias)	anual (Cr\$)	(Cr\$)
alternativa proposta	246	22.552.215	-
redução de 10%	242	22.162.684	389.531
redução de 20%	237	21.766.233	785.982
redução de 30%	233	21.362.321	1.189.894

Tabela 13 - Cálculo da economia advinda da redução do tempo de preparação das prensas

Elaborado pelo autor.

Naturalmente, o custo de obtenção desta redução deve ser tanto maior quanto maior for a redução. Se obtivermos uma estimativa deste custo de obtenção, poderemos fazer uma comparação com a economia obtida e assim concluir a respeito de sua conveniência ou não.