

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TRABALHO DE FORMATURA

PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE

PAPEL DE PAREDE

JOSÉ CARLOS TSAI CHOU

ORIENTADOR: PROF. PEDRO LUIZ O. COSTA NETO

1986

Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Agradeço às seguintes pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho:

ao prof. Pedro Luiz O. Costa Neto

pela dedicação demonstrada durante a orientação

ao Sr. Fan Cheh Sheug

pela oportunidade do estágio

aos colegas Dário e Eliane

pela colaboração e companheirismo demonstrados no decorrer deste trabalho

SUMARIO

O presente trabalho consiste da Programação da Produção de um processo produtivo de Papel de Parede. A solução, para tanto, levou ao uso iterativo da Programação Linear. Também faz parte do trabalho um estudo da Previsão de Venda para o posterior uso na Programação. É desenvolvido um modelo de Previsão para o caso específico deste produto, o qual é um modelo cíclico exponencial com trajetória linear.

INDICE

I - INTRODUÇÃO

I.1 - Empresa	04
I.2 - Estágio	05
I.3 - Objetivos do trabalho	06

II - PRODUTO

II.1 - Descrição do Processo de Produção	08
II.1.1 - Impressão	08
II.1.2 - Golfragem	10
II.1.3 - Lavabilidade	11
II.1.4 - Revisão do Material e enrolamento	11
II.2 - Análise do processo de fabricação	13
II.3 - Descrição do Processo de estocagem	16
II.4 - Análise do processo de estocagem	18

III - PREVISÃO DE VENDAS

III.1 - Introdução	20
III.2 - Situação atual	20
III.3 - Análise da situação atual	21
III.4 - Modelo	24
III.5 - Exemplo da previsão de venda	28
III.6 - Análise dos resultados	37

IV - PROGRAMAÇÃO

IV.1 - Atual Sistema de Programação	39
IV.2 - Análise do atual Sistema de Programação	43
IV.3 - Modelo	44
IV.4 - Formulação	45
IV.4.1 - Função Objetivo	45
IV.4.1.1 - Custo de Produção	45
IV.4.1.1.1 - Tempo de produção	46
IV.4.1.1.2 - Custo da matéria-prima	48
IV.4.1.1.3 - Custo da mão de obra	48
IV.4.1.1.4 - Custo da máquina	49
IV.4.1.2 - Preço de venda	51
IV.4.2 - Restrições	53
IV.5 - Processamento	57
IV.6 - Exemplo de Programação do Modelo	62
IV.7 - Análise do Resultado da Programação	77

V - CONCLUSÃO	80
---------------------	----

VI - BIBLIOGRAFIA	81
-------------------------	----

VII - ANEXOS

VII.1 - Análise de sensibilidade/1o. processam.	83
VII.2 - Análise de sensibilidade/2o. processam.	85
VII.3 - Análise de sensibilidade/3o. processam.	87
VII.4 - Tabela de entrada de dados/4o. processam.	89

INTRODUÇÃO

I - INTRODUÇÃO

I.1 - EMPRESA

A empresa em que foi desenvolvido o presente trabalho pertence a um grande conglomerado industrial com atuações em diversos setores da economia do país. Os setores principais são:

- Setor minero-químico
- Setor textil
- Setor alimentício
- Setor revestimentos
- Setor informática

A empresa em estudo atua no setor revestimentos, sendo a tinta o seu principal produto. Ela conta com um quadro de aproximadamente 3000 funcionários distribuídos em tres unidades produtivas. A unidade I, onde se encontra a matriz, localiza-se na região do ABC de São Paulo. A unidade II se localiza na mesma região, distante de 15 Km da matriz. A unidade III se localiza na região Nordeste do país.

Na unidade I temos a produção do esmalte sintético e de acessórios para pintura. Na unidade II, em que foi realizado o trabalho, encontramos a produção das tintas PVA ou látex e do Papel de Parede. Na unidade III temos a produção das tintas de PVA e esmalte sintético.

I.2 - ESTÁGIO

O estágio realizado na empresa esteve ligado à área de sistemas, com ênfase na área de microinformática.

No decorrer do estágio, a empresa ofereceu um programa de treinamento dirigido tanto para o microcomputador como para o computador de grande porte.

Paralelamente foram desenvolvidos vários sistemas de uso em micro, em diversas áreas de aplicações, tais como sistema de manutenção e sistema de avaliação de funcionários.

A empresa ofereceu oportunidades de desenvolver o Trabalho de Formatura em qualquer área da empresa, cabendo ao autor a escolha final, a qual recaiu na área da programação e controle da produção do Papel de Parede (P.P.), por ser uma área deficitária para a empresa.

Desta forma, a empresa deu uma certa liberdade para o desenvolvimento deste trabalho paralelamente aos programas de treinamentos e ao desenvolvimento de sistemas.

I.3 - OBJETIVOS DO TRABALHO

O presente trabalho visa fazer uma análise do processo de fabricação do Papel de Parede, procurando desta forma, localizar pontos onde seja possível introduzir modificações que melhorem a performance de todo o processo.

Isto é importante devido ao custo de produção deste produto ser muito elevado. Devido a este alto custo, este produto tem tido dificuldades para competir no mercado de revestimentos, onde a tinta tem um custo muito menor que o do Papel. Desta forma, pretende-se diminuir este custo.

Com a mesma preocupação de diminuir estes custos, será feito um estudo da programação deste produto, de tal forma que haja um maior lucro por parte da empresa.

Como parte desse estudo, realizou-se um estudo detalhado do produto e do processo, bem como uma previsão de vendas, necessária como subsídio à programação.

O PRODUTO

II - PRODUTO

II.1 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

O processo começa com o recebimento da matéria-prima, da qual a principal é o papel propriamente dito. São compradas bobinas de papel de aproximadamente 220 Kg com 530 mm de largura.

A primeira etapa do processo consiste no controle de qualidade por amostragem abrangendo os primeiros 10% do comprimento da bobina, verificando sua resistência à tração e dilatação (a propriedade de tração é exigida no momento da aplicação do papel na parede). Apenas após a aprovação desse material é que ele pode ser utilizado na produção.

Uma outra matéria-prima é a tinta. Elas são adquiridas na própria fábrica e, portanto, fáceis de ser manuseadas.

A estocagem do papel é realizado em um prédio separado do da produção. Quantidades de papel relativas ao trabalho de 4-5 dias são levadas para dentro da fábrica por tratores com carretas. Aí começa o processo produtivo propriamente dito com 4 operações básicas:

II.1.1 - Impressão e aspecto final

A impressão em papéis de parede comum é feita em rotogravura, processo também usado para impressão de revistas e

gravuras. Rotogravura é um processo no qual a tinta é transferida para o papel por meio de cilindros girantes com uma capa de cobre e reticulado oco, que transferem uma imagem foto-química ao papel. A máquina envolvida nesta etapa permite a impressão de 6 cores diferentes.

No processo, o papel entra em uma sequência onde é desbobinado, passando a seguir pelos cilindros gravados (um para cada cor da figura). No intervalo entre a passagem de dois cilindros seguidos, o papel passa por uma estufa onde é secado. Desta forma, o próximo cilindro encontrará o papel seco, podendo aplicar uma nova impressão sem prejudicar a cor anterior.

Todo um processo de alinhamento e regulagem da velocidade dos cilindros é necessário para que as cores se estabeleçam nos verdadeiros lugares.

Também é necessário realizar vários testes de tonalidade das cores. O controle da tonalidade da cor é realizado visualmente por um inspetor, que compara o papel recém-impresso com um papel padrão. Este teste é feito com ajuda de uma iluminação específica para este tipo de testes. Cabe aqui informar que o número de tonalidades usadas na produção de papel de parede é de aproximadamente 300.

Antes de serem rebobinados, os papéis são desorelhados por facas comandadas por foto-células (isto é, cortadas as margens brancas, usadas para marcar defeitos de posicionamento das cores

durante o processo). Feito este corte, o papel é rebobinado, partindo para a próxima etapa.

II.1.2 - GOLFRAGEM

A golfragem é um acabamento de relevo do papel. Além de embelezar o papel, ela provê ao papel um certo relevo que, por efeito sanfona, acaba minimizando a contração. Essa é uma característica que distingue esse produto dos seus concorrentes. Isso é importante, pois o papel está constantemente sujeito às variações de temperatura, contraindo ou dilatando.

Para esta etapa, as bobinas são colocadas em uma desbobinadeira, sem esforço do operário (comandos tipo válvula ajudam a levantar o material apoiado). Novamente aqui, o processo é feito por cilindros com baixo relevo, um em aço e o outro em fibra de lã. O papel acaba bem moldado de ambos os lados. Ao sair dos cilindros, o papel é rebobinado.

Nesta etapa é feito um controle rigoroso das propriedades do papel golfrado, verificando sua resistência à tração e ao rasgo. Esse é um controle importante, pois como o papel é comprimido, as suas propriedades são afetadas. Esse controle é feito logo no início da operação, sendo feito o teste em uma amostragem inicial da bobina. Durante o teste desta amostra, a golfradora fica parada à espera da aprovação. Apenas após a aprovação é que a bobina é totalmente golfrada.

II.1.3 - LAVABILIDADE

Este processo é o responsável pela durabilidade do produto. Ele proporciona um over-coating de P.V.A. sobre o papel que servirá para aumentar a resistência do mesmo e permitir a sua lavabilidade.

Nesta etapa, o papel é desbobinado passando por roldanas até a banheira de P.V.A., onde recebe um filme dessa substância. O excesso desse filme é retirado por um soprador de ar. A seguir, o papel passa por uma estufa, onde é secado, e novamente rebobinado.

Agora são feitos dois testes importantes : o de lavagem e o de resistência ao ultravioleta, que especificam a qualidade do produto final.

Também é realizado um outro teste controlando o peso do verniz. Este teste é realizado na balança de peso básico. Caso haja uma aplicação do verniz em excesso, pode ocorrer o efeito "blocking", ou seja, o papel enrolado se grudaria e se estragaria.

II.1.4 - REVISÃO DO MATERIAL E ENROLAMENTO

Nesta fase, o papel é desbobinado em meia-lua e comparado com um padrão. Se for aprovado pelo inspetor, o papel é enrolado de 10 em 10 metros de comprimento, que é a unidade de venda do produto.

Os rolos recebem etiquetas contendo o número de fabricação e a numeração do rolo. Depois são embalados com filme de poliuretano e, de 10 em 10, são colocados em caixas de comercialização seguindo rigorosamente a ordem da numeração dos rolos.

As caixas de comercialização são estocadas no ponto de embalagem até o final do dia, quando passa um caminhão para transportá-las a uma outra unidade, onde é realizado a estocagem.

Na figura 1.1 mostramos o fluxograma de todo o processo descrito.

II.2 - ANÁLISE DO PROCESSO

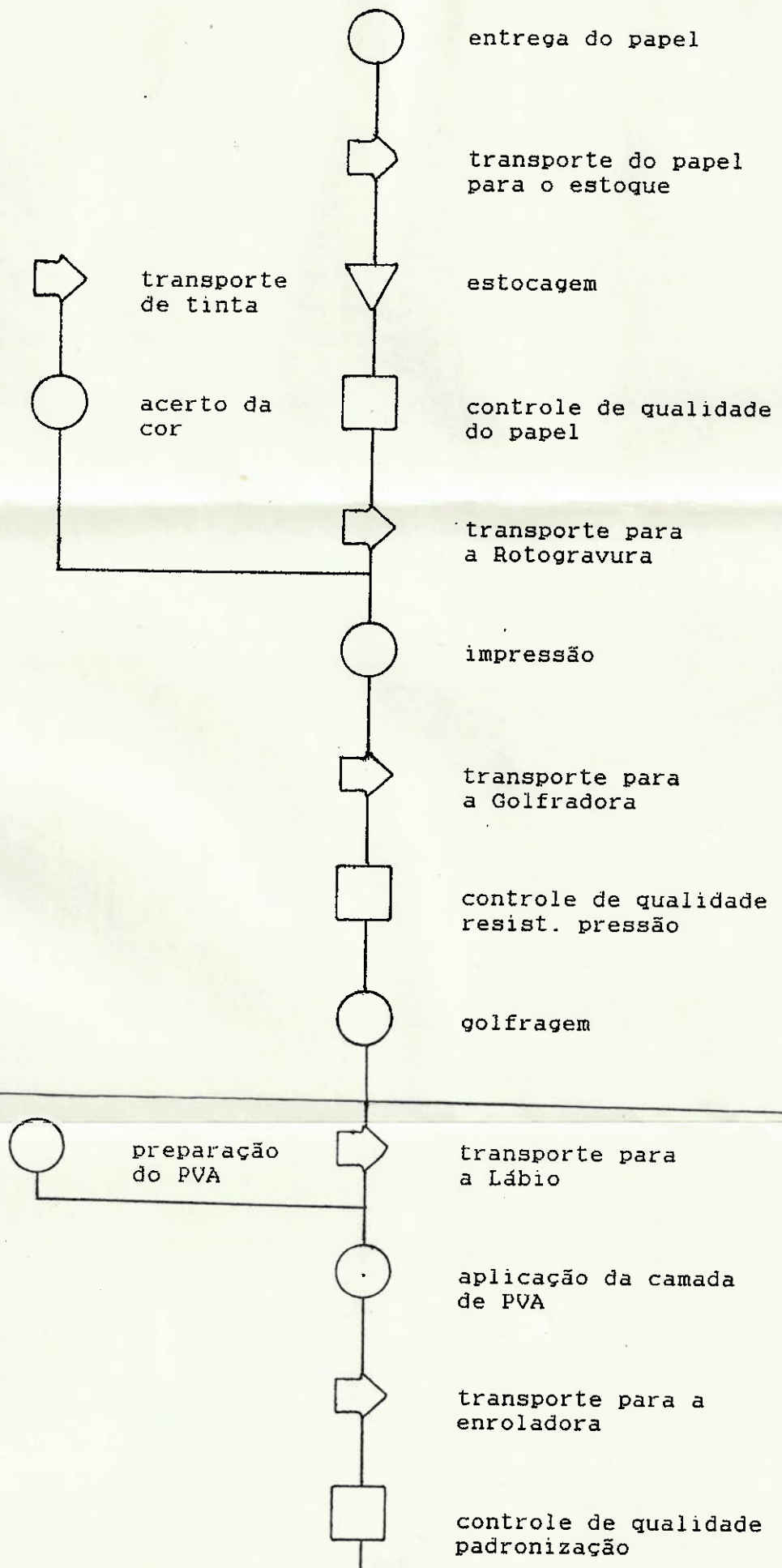
O processo tem uma grande deficiência no que se refere à padronização das tonalidades das cores. Uma consequência disto é que os rolos de papéis de lotes de fabricação diferentes, apesar de mesmo modelo, não podem ser aplicados em uma mesma parede.

O acerto de cor é o principal fator que afeta a parada da máquina. Alguns modelos, como a coleção infantil, exigem maior tempo de acerto devido à maior quantidade de cores usadas, enquanto outros exigem menos.

Esse tempo gasto para o acerto de cor corresponde a aproximadamente 20% das horas disponíveis da máquina em um mês, o que é um valor considerável, além de proporcionar um grande consumo de papel.

Uma solução viável para eliminar tanto o gasto de papel quanto a parada da máquina é realizar o acerto de cor fora da máquina, isto é, este acerto pode ser feito em laboratório antes do item entrar em produção. Este acerto pode ser feito de maneira semelhante ao que é feito no acerto de cor para a fabricação de tintas. Primeiro tira-se uma amostra da tinta preliminarmente preparada, passando um pincel em uma placa de vidro, formando-se um filme de tinta. Com a ajuda de uma iluminação específica, é feito o teste das tonalidades comparando-se com uma placa contendo a cor

FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO



padrão. Neste caso, o único investimento a ser necessário é a compra das placas de vidro para efetuar os testes e para armazenar as cores padrão. É bom lembrar que a maioria destas placas podem ser reaproveitadas com uma simples remoção da tinta através do uso de "thinner".

Sendo feito este acerto de cor antes, o tempo gasto na preparação da máquina se reduz somente ao tempo de ajuste dos cilindros, que é um processo mais rápido do que o acerto de cor.

Em geral, o acerto de cores feito visualmente traz resultados não satisfatórios, além de exigir funcionários especializados nesta área.

Para o problema da falta de padronização das cores, uma solução possível seria a utilização de equipamentos eletrônicos que fariam ajustes automáticos, como ocorre atualmente em algumas indústrias de impressão de papel. Neste caso deverá ser feita uma análise de viabilidade econômica, por se tratar de um alto investimento por parte da empresa. Os itens que devem ser levados em conta para o estudo da viabilidade econômica são:

- custo na compra e implantação desses equipamentos.
- custo de manutenção do equipamento a ser adquirido. Este custo existirá ao longo do seu funcionamento.
- custo devido à parada da máquina para o acerto de cor. Este custo deixará de existir com a implantação deste equipamento.

- custo de mão-de-obra envolvido no acerto de cor. Este custo também deixará de existir.

Este investimento deverá ser avaliado ao longo de vários anos, conforme a vida do equipamento e o interesse da empresa. O resultado deverá ser avaliado e comparado com uma taxa mínima de retorno real existente no mercado.

A primeira solução proposta pode ser imediatamente implantada por se tratar de um baixo investimento e um ganho no tempo de disponibilidade da máquina. A segunda solução irá depender do estudo de viabilidade econômica a ser realizado. Não entraremos em detalhe neste estudo de viabilidade econômica por não se tratar do objetivo deste trabalho. Fica aqui uma proposta de modificação do processo de fabricação.

II.3 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ESTOCAGEM

A estocagem é realizada em unidade diferente da unidade de produção, sendo a distância entre as unidades de aproximadamente 15 Km.

O transporte é realizado ao final do expediente através de caminhões que percorrem o trajeto entre a unidade de produção e a unidade onde se situa o estoque. O motivo dessa transferência é devido à facilidade de distribuição e comercialização do produto na unidade de estocagem, principalmente face à sua localização.

O estoque é composto de várias estanterias, onde cada prateleira é numerado conforme o corredor, a seção e o andar. Desta maneira facilita-se o trabalho do operário em localizar certos itens do produto.

Os níveis de estoque são controlados pelo responsável pelo estoque e comunicados aos departamentos de PCP e Comercial.

O Papel de Parede é estocado em caixas de 10 em 10 rolos como foi visto anteriormente. Geralmente todas as caixas são abertas para a retirada dos rolos em sequência de numeração e nunca há mistura, em um mesmo pedido, de rolos de diferentes lotes de fabricação. Exemplificando, temos:

- Supondo que ainda haja no estoque 10 rolos de um certo item do lote de fabricação X e todo um lote de fabricação Y;
- Supondo que haja um pedido de 11 rolos deste item;

- Neste caso, o operário não retiraria os 10 rolos do lote X mais um rolo do lote Y. O seu procedimento seria "encostar" esses 10 rolos e abrir o novo lote Y, retirando 11 rolos sequencialmente. Assim, esses 10 rolos engrossariam a fila dos produtos parados, denominados "pontas de estoque". A maior parte destas "pontas de estoque" acaba sendo aproveitada para compor o Álbum da coleção. Porém esta é uma solução na qual um produto de boa qualidade e de elevado preço acaba sendo mal aproveitado, ou seja, é praticamente uma perda para a empresa.

Após juntar todos os rolos do pedido, eles são novamente embalados e entregues ao cliente.

II.4 - ANÁLISE DO PROCESSO DE ESTOCAGEM

Notamos neste processo, que o produto é embalado duas vezes : a primeira ocorre logo após a sua fabricação e a segunda ocorre na hora de juntar os pedidos. Neste caso, pode-se eliminar a primeira embalagem, economizando o tempo gasto nesta etapa e o próprio material usado.

Em substituição a esta embalagem, propõe-se a utilização de caixas contendo vãos específicos para a armazenagem dos rolos nesta fase. Estas caixas seriam reaproveitáveis e teriam as seguintes utilidades:

- ajuntar sequencialmente os rolos após a sua plastificação.
- transportar os rolos do local da produção para o local da estocagem.
- armazenar os rolos no estoque.
- permitir retirada dos rolos sequencialmente.

Ao se esvaziar os rolos da caixa, esta caixa retornaria à unidade de produção, onde seria novamente carregada com o produto.

PREVISÃO DE VENDA

III - PREVISÃO DE VENDA

III.1 - INTRODUÇÃO

Pretende-se nesta seção um estudo mais detalhado do comportamento das vendas do produto ao longo dos anos, visando aplicar posteriormente os resultados nos cálculos da programação de produção, conforme será visto mais adiante no capítulo da Programação.

III.2 - SITUAÇÃO ATUAL

As previsões de vendas do produto têm sido feitas pelo Departamento Comercial, sendo calculados pela média dos últimos meses e ponderando-se, por intuição, com os resultados de venda do referente mês nos anos anteriores.

Através de uma comparação entre previsão de vendas e as vendas reais dos itens, verificamos que a variação percentual de erro chega a níveis de 90%. Estes valores mostram que o método de cálculo da previsão de venda realizado atualmente é ineficiente, provocando a necessidade de maiores níveis de estoque, a fim de evitar possíveis faltas do produto.

III.3 - ANÁLISE:

Analisando-se o gráfico 4.1, referente às vendas mensais do papel de parede em um período de tres anos, observamos que as vendas têm tido um comportamento cíclico com amplitude de um ano.

Uma maneira de se eliminar esta sazonalidade é a aplicação de uma média móvel de doze meses, o que irá nos fornecer a linha indicativa do comportamento ao longo destes anos. Podemos analisar este comportamento no gráfico 4.2.

Em uma análise do comportamento das vendas, verificamos que houve uma tendência de queda nas vendas até o mês de Fevereiro de 1985. A partir deste mês, as vendas passaram a ter um novo comportamento, com um real crescimento das vendas.

VENDAS A PARTIR DE JANEIRO/83

PAPEL DE PAREDE

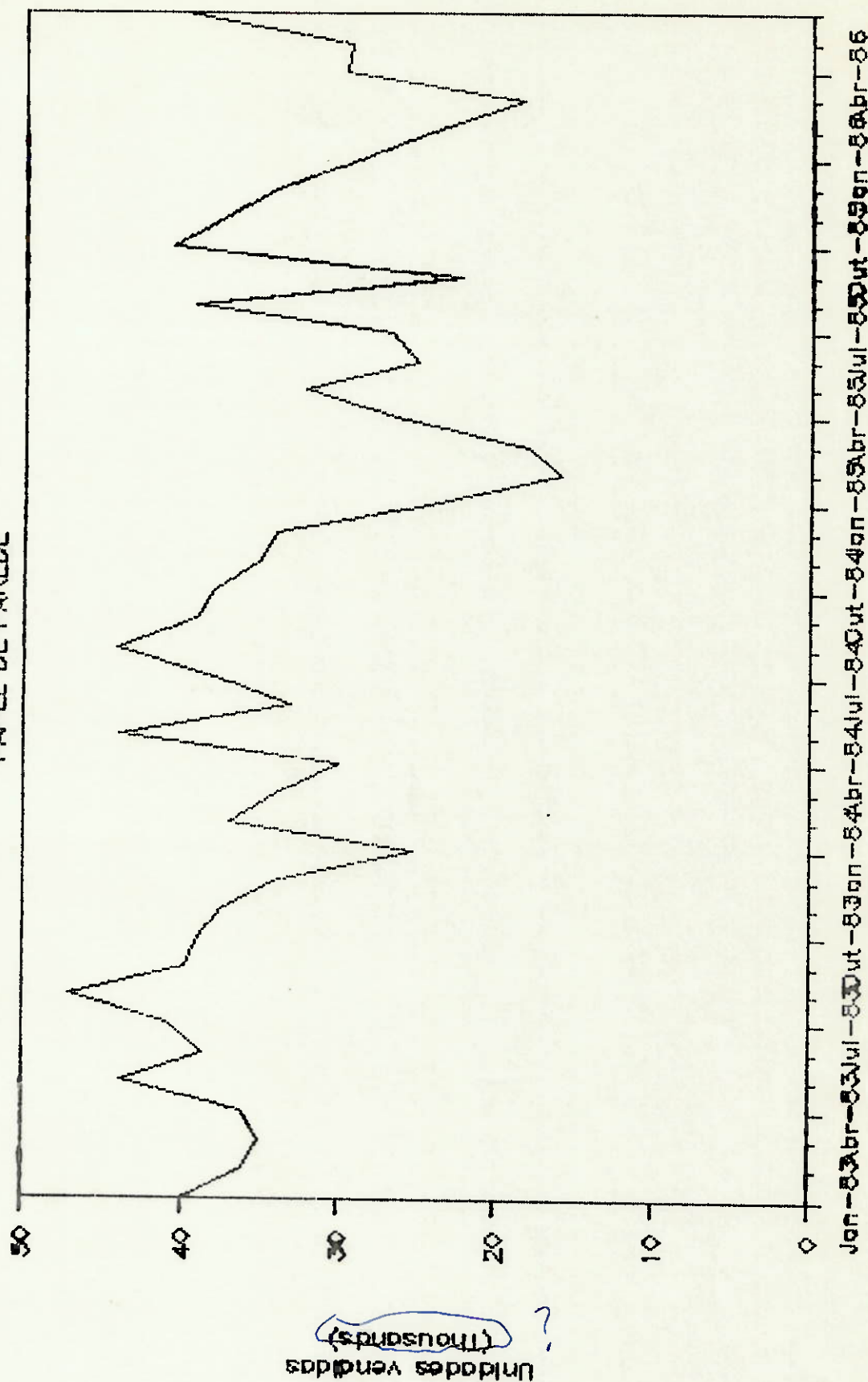


Figura 4.1

MEDIA MOVEL DAS VENDAS

PAPEL DE PAREDE / 12 MESES

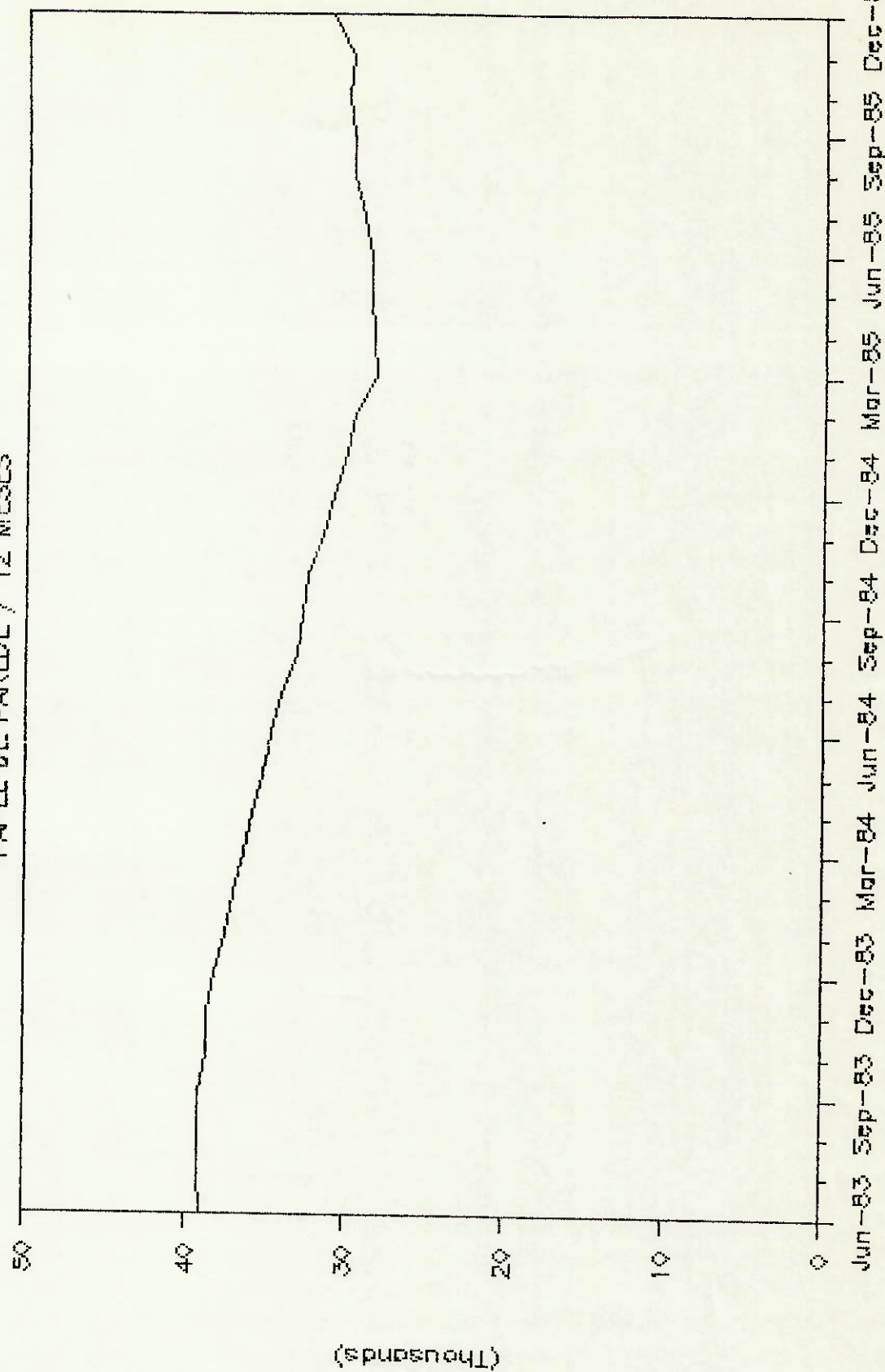


Figura 4.2

III.4 - MODELO:

Baseado nesta observação do comportamento das vendas, pode-se aplicar a regressão linear para estas duas tendências, obtendo-se desta forma duas retas suportes.

Estas retas serão representadas da seguinte forma:

$$St = Vm + (t - tm) * b \quad (4.1)$$

sendo: St = Valor da reta suporte no instante t .

Vm = venda média mensal do último período.

t = instante da análise.

tm = valor médio de t no último período.

b = coeficiente de inclinação da reta.

A venda média mensal é obtida da seguinte forma:

$$Vm = (SOM (V)) / n \quad (4.2)$$

sendo: n = número de observações.

Da mesma forma, calcula-se o valor médio de t :

$$tm = (SOM (t)) / n \quad (4.3)$$

O coeficiente de inclinação da reta é calculado através da seguinte relação:

$$b = \frac{\text{SOM} (V * (t - t_m))}{\text{SOM} ((t - t_m) ^ 2)} \quad (4.4)$$

Feito o equacionamento destas retas, resta-nos estimar os fatores estacionais de cada mês.

O fator estacional é um valor que faz os ajustes necessários à reta de forma a se aproximar do comportamento da sazonalidade. Este fator é multiplicado diretamente ao valor estimado da reta, e portanto, mostra as variações de comportamento de cada período em relação ao valor da reta estimada.

Este fator é obtido dividindo a venda observada no mês (V) pelo valor S_t obtido da equação da reta no respectivo mês.

No nosso trabalho iremos trabalhar com doze fatores estacionais, cada qual correspondendo a um mês do ano.

Para se determinar o fator estacional de um mês, poderá ser calculada a média dos fatores correspondentes dos anos anteriores, ou seja, seria feita uma média linear dos resultados passados. Este tipo de cálculo fornece a mesma importância entre os resultados das vendas dos anos mais antigos com os dos anos mais recentes, o que muitas vezes não é interessante.

A proposta neste caso é a introdução da média exponencial para o cálculo destes fatores. Desta forma, os resultados das vendas dos anos mais recentes terão um maior peso no cálculo do novo valor do fator estacional, conforme as necessidades da empresa.

O cálculo do fator estacional no instante t será feito da seguinte forma:

$$F(t) = a * \frac{V_t}{S_t} + (1-a) * F(t-L) \quad (4.5)$$

sendo: $F(t)$ = fator estacional no mês t .

a = coeficiente de ponderação.

V_t = venda real registrada no mês t .
 S_t = valor da reta suporte no mês t .
 $F(t-L)$ = fator estacional no mês t do ano anterior

O valor do coeficiente de ponderação "a" irá variar de 0 a 1. Quanto mais próximo estiver de 1, maior será a influência do último resultado da venda sobre o novo valor do fator estacional.

III.5 - EXEMPLO DE PREVISÃO DE VENDA

Para o teste do modelo proposto de previsão de venda, serão feitos os cálculos das previsões de vendas para os meses de Janeiro a Junho de 1986 e posteriormente comparados aos valores reais de venda do produto.

Será feita a previsão para a venda agregada do P.P., podendo ser aproveitado e calculado para cada item do produto.

Devido a alguns dados serem confidenciais para a empresa, vários deles foram ligeiramente alterados nesta publicação a pedido da própria empresa, sem afetar consideravelmente o teste do modelo aqui proposto. Os valores das vendas utilizadas para este exemplo é mostrado na tabela 4.1.

Os cálculos para se determinar a reta suporte do comportamento das vendas é mostrado nas tabelas 4.2 a 4.7 correspondentes aos meses em estudo. Os cálculos destes valores foram efetuados com o auxílio do Software Lotus 1-2-3.

Os cálculos dos fatores estacionais conforme a equação (4.5) foram feitos manualmente e serão mostrados a seguir. Para estes cálculos, adotou-se o valor de 0,3 para o fator de alisamento exponencial "a" indicada na mesma equação.

- Janeiro:

40021

Fjan83 = ----- = 0,962

41614

41000

Fjan84 = 0,3 * ----- + 0,7 * Fjan83 = 1,006

36956

24216

Fjan85 = 0,3 * ----- + 0,7 * 1,006 = 0,929

32298

- Fevereiro:

Ffev83 = 0,874

37000

Ffev84 = 0,3 * ----- + 0,7 * 0,874 = 0,915

36568

15984

Ffev85 = 0,3 * ----- + 0,7 * 0,915 = 0,791

31910

- Março:

Fmar83 = 0,860

34000

$$\text{Fmar84} = 0,3 * \text{-----} + 0,7 * 0,860 = 0,884$$

36179

18098

$$\text{Fmar85} = 0,3 * \text{-----} + 0,7 * 0,884 = 0,828$$

26010

- Abril:

$$\text{Fabr83} = 0,893$$

30000

$$\text{Fabr84} = 0,3 * \text{-----} + 0,7 * 0,893 = 0,877$$

35791

26444

$$\text{Fabr85} = 0,3 * \text{-----} + 0,7 * 0,877 = 0,911$$

26671

- Maio:

$$\text{Fmai83} = 1,095$$

44000

$$\text{Fmai84} = 0,3 * \text{-----} + 0,7 * 1,095 = 1,139$$

35403

32215

$$\text{Fmai85} = 0,3 * \text{-----} + 0,7 * 1,139 = 1,151$$

27331

- Junho:

$$F_{\text{jun83}} = 0,976$$

33000

$$F_{\text{jun84}} = 0,3 * \text{-----} + 0,7 * 0,976 = 0,966$$

35015

25083

$$F_{\text{jun85}} = 0,3 * \text{-----} + 0,7 * 0,966 = 0,945$$

27991

Os valores da reta suporte para cada mês pode ser retirado das tabelas 4.2 a 4.7. Os valores que nos interessam para o cálculo da nova previsão são:

Janeiro = 39261

Fevereiro = 37123

Março = 33934

Abril = 29815

Maio = 29900

Junho = 27842

Multiplicando-se os valores dos fatores estacionais pelos valores projetados acima obtemos os valores da previsão de venda para os respectivos meses:

Janeiro = 0,929 * 39261 = 36473
Fevereiro = 0,791 * 37123 = 29364
Março = 0,828 * 33934 = 28097
Abril = 0,911 * 29815 = 27161
Maio = 1,151 * 29900 = 34415
Junho = 0,945 * 27842 = 26311

Os valores calculados pela empresa e as reais são:

Previsto pela empresa

Janeiro = 22580
Fevereiro = 21231
Março = 26432
Abril = 33213
Maio = 36123
Junho = 25674

Vendas reais

Janeiro = 28888
Fevereiro = 24070
Março = 18402
Abril = 29593
Maio = 32369
Junho = 34321

VENDA REAL DE P.P. DE JAN/83 A FEV/85

Mes	t	V	t-t _m	(t-t _m) ²	V(t-t _m)	S	V/S
Jan-83	1	40021	-12.5	156.25	-500262.	41614	0.961730
Fev-83	2	36040	-11.5	132.25	-414460	41225	0.874218
Mar-83	3	35122	-10.5	110.25	-368781	40837	0.860048
Abr-83	4	36130	-9.5	90.25	-343235	40449	0.893221
Mai-83	5	43855	-8.5	72.25	-372767.	40061	1.094706
Jun-83	6	38712	-7.5	56.25	-290340	39673	0.975781
Jul-83	7	40920	-6.5	42.25	-265980	39285	1.041627
Ago-83	8	47141	-5.5	30.25	-259275.	38897	1.211958
Set-83	9	39722	-4.5	20.25	-178749	38508	1.031515
Out-83	10	38933	-3.5	12.25	-136265.	38120	1.021320
Nov-83	11	37412	-2.5	6.25	-93530	37732	0.991515
Dez-83	12	34223	-1.5	2.25	-51334.5	37344	0.916426
Jan-84	13	25212	-0.5	0.25	-20500	36956	0.682216
Fev-84	14	37000	0.5	0.25	18500	36568	1.011821
Mar-84	15	34000	1.5	2.25	51000	36180	0.939757
Abr-84	16	30000	2.5	6.25	75000	35791	0.838189
Mai-84	17	44000	3.5	12.25	154000	35403	1.242822
Jun-84	18	33000	4.5	20.25	148500	35015	0.942449
Jul-84	19	38000	5.5	30.25	209000	34627	1.097409
Ago-84	20	44271	6.5	42.25	287761.5	34239	1.293004
Set-84	21	39104	7.5	56.25	293280	33851	1.155189
Out-84	22	38000	8.5	72.25	323000	33463	1.135596
Nov-84	23	35000	9.5	90.25	332500	33074	1.058219
Dez-84	24	34000	10.5	110.25	357000	32686	1.040191
Jan-85	25	24216	11.5	132.25	278484	32298	0.749764
Fev-85	26	15984	12.5	156.25	199800	31910	0.500908

t_m= 13.5
V_m= 36761.76
R= -388.14

Tabela 4.1

Previsao - Janeiro/86						
t	V	t-tm	(t-tm)^2	V(t-tm)	S	V/S
1	18098	-4.5	20.25	-81441	22922	0.789530
2	26444	-3.5	12.25	-92554	24556	1.076873
3	32215	-2.5	6.25	-80537.5	26190	1.230045
4	25083	-1.5	2.25	-37624.5	27824	0.901491
5	26772	-0.5	0.25	-13386	29458	0.908828
6	39299	0.5	0.25	19649.5	31092	1.263978
7	22321	1.5	2.25	33481.5	32725	0.682071
8	40820	2.5	6.25	102050	34359	1.188039
9	37472	3.5	12.25	131152	35993	1.041093
10	34222	4.5	20.25	153999	37627	0.909513
11	Valor previsto - Jan./86 =				39261	

$t_m = 5.5$
 $V_m = 30274.6$
 $SOM((t-t_m)^2) = 82.5$
 $SOM(V(t-t_m)) = 134789$
 $R = 1633.806$

Tabela 4.2

Previsao - Fevereiro/86						
t	V	t-tm	(t-tm)^2	V(t-tm)	S	V/S
1	18098	-5	25	-90490	24337	0.743644
2	26444	-4	16	-105776	25499	1.037050
3	32215	-3	9	-96645	26662	1.208293
4	25083	-2	4	-50166	27824	0.901491
5	26772	-1	1	-26772	28986	0.923611
6	39299	0	0	0	30149	1.303512
7	22321	1	1	22321	31311	0.712883
8	40820	2	4	81640	32473	1.257036
9	37472	3	9	112416	33636	1.114060
10	34222	4	16	136888	34798	0.983451
11	28888	5	25	144440	35960	0.803332
12	Valor previsto - Fev./86 =				37123	

$t_m = 6$
 $V_m = 30148.54$
 $SOM((t-t_m)^2) = 110$
 $SOM(V(t-t_m)) = 127856$
 $R = 1162.327$

Tabela 4.3

Previsao - Marco/86						
t	V	t-tm	(t-tm) ²	V(t-tm)	S	V/S
1	18098	-5.5	30.25	-99539	26010	0.695801
2	26444	-4.5	20.25	-118998	26671	0.991503
3	32215	-3.5	12.25	-112752	27331	1.178701
4	25083	-2.5	6.25	-62707.5	27991	0.896102
5	26772	-1.5	2.25	-40158	28652	0.934400
6	39299	-0.5	0.25	-19649.5	29312	1.340720
7	22321	0.5	0.25	11160.5	29972	0.744724
8	40820	1.5	2.25	61230	30632	1.332573
9	37472	2.5	6.25	93680	31293	1.197465
10	34222	3.5	12.25	119777	31953	1.071007
11	28888	4.5	20.25	129996	32613	0.885771
12	24070	5.5	30.25	132385	33274	0.723394
13	Valor previsto - Marco/86 =				33934	

tm= 6.5
 Vm= 29642
 SOM((t-tm)²)= 143
 SOM(V(t-tm))= 94424
 R= 660.3076

Tabela 4.4

Previsao - Abril/86						
t	V	t-tm	(t-tm) ²	V(t-tm)	S	V/S
1	18098	-6	36	-108588	27888	0.648957
2	26444	-5	25	-132220	28036	0.943213
3	32215	-4	16	-128860	28184	1.143011
4	25083	-3	9	-75249	28333	0.885305
5	26772	-2	4	-53544	28481	0.939999
6	39299	-1	1	-39299	28629	1.372693
7	22321	0	0	0	28777	0.775643
8	40820	1	1	40820	28926	1.411204
9	37472	2	4	74944	29074	1.288853
10	34222	3	9	102666	29222	1.171096
11	28888	4	16	115552	29370	0.983573
12	24070	5	25	120350	29519	0.815415
13	18402	6	36	110412	29667	0.620285
14	Valor previsto - Abril/86 =				29815	

tm= 7
 Vm= 28777.38
 SOM((t-tm)²)= 182
 SOM(V(t-tm))= 26984
 R= 148.2637

Tabela 4.5

Previsao - Maio/86						
t	V	t-tm	(t-tm)^2	V(t-tm)	S	V/S
1	18098	-6.5	42.25	-117637	27913	0.648367
2	26444	-5.5	30.25	-145442	28055	0.942573
3	32215	-4.5	20.25	-144967	28197	1.142496
4	25083	-3.5	12.25	-87790.5	28339	0.885107
5	26772	-2.5	6.25	-66930	28481	0.939999
6	39299	-1.5	2.25	-58948.5	28623	1.372997
7	22321	-0.5	0.25	-11160.5	28765	0.775986
8	40820	0.5	0.25	20410	28907	1.412134
9	37472	1.5	2.25	56208	29049	1.289979
10	34222	2.5	6.25	85555	29190	1.172370
11	28888	3.5	12.25	101108	29332	0.984851
12	24070	4.5	20.25	108315	29474	0.816644
13	18402	5.5	30.25	101211	29616	0.621349
14	29593	6.5	42.25	192354.5	29758	0.994452
15	Valor previsto - Maio/86 =				29900	

$t_m = 7.5$
 $V_m = 28835.64$
 $SOM((t-t_m)^2) = 227.5$
 $SOM(V(t-t_m)) = 32285.5$
 $R = 141.9142$

Tabela 4.6

Previsao - Junho/86						
t	V	t-tm	(t-tm)^2	V(t-tm)	S	V/S
1	18098	-7	49	-126686	27971	0.647033
2	26444	-6	36	-158664	28099	0.941088
3	32215	-5	25	-161075	28228	1.141242
4	25083	-4	16	-100332	28357	0.884554
5	26772	-3	9	-80316	28485	0.939853
6	39299	-2	4	-78598	28614	1.373422
7	22321	-1	1	-22321	28743	0.776583
8	40820	0	0	0	28871	1.413865
9	37472	1	1	37472	29000	1.292145
10	34222	2	4	68444	29128	1.174863
11	28888	3	9	86664	29257	0.987383
12	24070	4	16	96280	29386	0.819104
13	18402	5	25	92010	29514	0.623492
14	29593	6	36	177558	29643	0.998312
15	29369	7	49	205583	29772	0.986474
16	Valor previsto - Junho/86 =				29900	

$t_m = 8$
 $V_m = 28871.2$
 $SOM((t-t_m)^2) = 280$
 $SOM(V(t-t_m)) = 36019$
 $R = 128.6392$

Tabela 4.7

III.6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DA PREVISÃO DE VENDA

Com base nos resultados obtidos no teste do modelo da previsão, concluímos que o novo modelo tem uma precisão razoável neste cálculo. Um mês que registrou valor muito longe do previsto pelo modelo foi o mês de Junho. Isto decorreu do alto consumo gerado pelo Plano Cruzado, uma vez que estava previsto uma diminuição de vendas neste mês. Porém, com o decorrer do tempo, este modelo irá se ajustar conforme as últimas variações.

Outro mês atípico foi o mês de Março. Este foi um mês em que o consumidor ficou à espera dos resultados do Plano Cruzado, diminuindo consideravelmente as vendas neste mês.

Comparando os valores obtidos neste modelo proposto com os valores calculados pela própria empresa, verificamos que houve uma sensível melhora quanto aos resultados, tornando este novo modelo viável.

No entanto, este é um modelo que exige uma grande quantidade de cálculos a serem efetuados. No caso deste modelo ser utilizado mensalmente para todos os itens, o tempo gasto pelo processo seria muito grande.

Uma forma de se otimizar este processo é a utilização do microcomputador para estes cálculos. Desta forma, torna-se viável a aplicação deste modelo para os cálculos da previsão de venda para cada item, melhorando a performance da mesma.

PROGRAMAÇÃO

IV - PROGRAMAÇÃO

IV.1 - ATUAL SISTEMA DE PCP

As quantidades de produto a serem elaborados são determinadas em função do estoque de segurança, lote de fabricação e ponto de pedido.

Para a determinação do estoque de segurança, toma-se como necessidade a quantidade suficiente para suportar as variações das vendas. Esta quantidade é calculada conforme o fator de serviço que se deseja prestar aos clientes.

Desta forma, é calculado o desvio padrão $\text{Sigma}(n-1)$ em função das vendas históricas de cada produto, atribuindo valor 2 como fator de segurança, procurando desta forma, evitar possíveis faltas de produtos em estoque.

$$\text{Sigma}(n-1) = \frac{\text{SOM } ((V - V_m)^2)}{n - 1}$$

sendo: $\text{Sigma}(n-1)$ = desvio padrão.

V = venda real no período.

V_m = média aritmética mensal das vendas.

n = número de períodos considerados.

$$\text{Estoque de Segurança} = 2 * \text{Sigma}(n-1)$$

O lote de fabricação é determinado em função do volume de venda, custo de preparação e objetivos de estoque.

O ponto de pedido é a quantidade de estoque disponível que determina a necessidade de uma reposição do produto em um determinado mês. Esta quantidade é calculada baseada na média de vendas dos meses anteriores e acrescida de dois desvios-padrões como um fator de segurança. Esta quantidade irá assegurar o fornecimento do produto durante um mês. Desta forma, ela é calculada da seguinte forma:

$$\text{Pto de Pedido} = V_m + 2 * \text{Sigma}(n-1)$$

sendo: V_m = venda média mensal do produto

2 = fator de segurança

$\text{Sigma}(n-1)$ = desvio-padrão

Exemplificando, mostramos a seguir, o processo de programação feito atualmente.

PROCESSO DE PROGRAMAÇÃO

- Comportamento das vendas:

PERIODO CÓDIGO PRODUTOS : Quant. em rolos

708-01 708-02 804-01

Janeiro	359	521	896
Fevereiro	183	347	1016
Março	467	429	1539
Abril	385	547	994
Maio	470	502	888
Junho	743	321	1588
Julho	172	494	2081
Agosto	543	602	1077
Setembro	289	484	1236
Outubro	304	207	1660

Vm	391	445	1297
Sigma(n-1)	172	120	400
2*Sigma(n-1)	344	240	800
Pto de pedido	735	685	2097
Lote	1200	1400	4000

- O programa de produção é efetuado mensalmente, porém os estoques são analisados diariamente. Na preparação do programa de produção, é verificado os produtos que satisfazem a seguinte condição:

Estoque disponível $\leq$ Pto de pedido

Como exemplo, tomou-se a seguinte posição de estoque no início do mês (época da elaboração do programa de produção):

Código			Ponto	Estoque	Quant. a
Produto	Vm	Sigma(n-1)	Pedido	Disponível	Fabricar
708-01	391	172	735	600	1200
708-02	445	120	685	1200	zero
804-01	1291	400	2097	2000	4000

Verificou-se que os produtos 708-01 e 804-01 são os que satisfazem a fórmula de condição para fabricar. Portanto, são tomadas as providências para se iniciar o processo de fabricação, obedecendo aos seguintes critérios:

- Verificação da disponibilidade de materiais
- Verificação da disponibilidade de ferramental
- Prioridade em função de estoques críticos
- Verificar disponibilidade máquina e mão de obra

A determinação das prioridades está em função da seguinte relação:

$$\frac{\text{Estoque disponível}}{\text{Vm}} = \text{fator de prioridade}$$

Toma-se como produto crítico em estoque aquele que tiver o menor fator de prioridade.

IV.2 - ANÁLISE DO ATUAL SISTEMA DE PCP

O atual sistema de programação tem como prioridade de produção, o menor valor da relação entre o estoque disponível e a média aritmética mensal das vendas. Neste caso, o objetivo da empresa está em diminuir a possibilidade de ocorrer falta no fornecimento dos produtos.

Porém, devido à procura deste produto ter aumentado muito após o recente Plano Cruzado, a empresa não tem atendido a toda esta procura, ocorrendo eventuais faltas. Outro motivo que tem agravado esta situação é o ineficiente cálculo da previsão de venda realizado pelo departamento comercial da empresa. Estes erros podem acarretar maiores frequências de faltas de certos produto ou, por outro lado, altos níveis de estoques. Portanto, o modelo atual se preocupa apenas em atender às faltas mais imediatas, mas não soluciona o problema das faltas dos itens.

Uma outra observação é que na maioria dos casos, quando há falta de um certo item, os consumidores acabam comprando outros modelos de P.P.. Desta forma, a nossa preocupação principal não será mais o atendimento destes produtos em falta, mas prover à empresa o maior lucro possível.

IV.3 - MODELO

Face a este objetivo, será utilizada a Programação Linear para se obter o maior lucro da empresa. Neste capítulo será desenvolvido a formulação do modelo a ser utilizado na Programação Linear, através do qual será possível a compreensão da escolha deste método.

A Programação Linear é um método que maximiza ou minimiza, conforme as necessidades, uma função, que será denominada Função Objetivo. Para tanto, será necessária a informação quanto às restrições referentes à produção. O método utilizado é chamado de "Método Simplex".

Para maiores informações sobre o método, há disponível um vasto número de livros que tratam a respeito, entre os quais, citamos o livro de Richard Brownsom intitulado "Pesquisa Operacional" (ref. VI.1).

IV.4 - FORMULAÇÃO

IV.4.1 - FUNÇÃO OBJETIVO

O objetivo da programação é maximizar o lucro a ser obtido, onde o lucro será calculado pela somatória dos lucros marginais multiplicados pela quantidade dos respectivos itens. A formulação da função fica da seguinte forma:

$$\begin{aligned}\max \text{ lucro, } \text{lucro} &= \text{SOMl (lucro de cada item)} \\ &= \text{SOMl (vi - cpi) * xi} \quad (5.1)\end{aligned}$$

sendo: cpi = custo de produção do item

vi = preço de venda do item

xi = quantidade de rolos a ser produzido

A somatória SOMl indicada acima corresponde aos itens do P.P..

IV.4.1.1 - CUSTO DE PRODUÇÃO

Este custo é composto por três fatores:

- custo de matéria prima (cmpi)
- custo de mão-de-obra (cmoi)
- custo da máquina (cmqi)

A equação que irá determinar o valor deste custo é:

$$cpi = cmpi + SOM2 ((cmoi + cmqi) * t) \quad (5.2)$$

sendo: t = tempo de produção.

A somatória SOM2 indicada acima se refere à soma dos custos de cada processo envolvido na produção. Por exemplo, o custo da impressão do papel.

A equação (5.1) fica:

$$\begin{aligned} \max \text{ lucro, lucro} = & SOM1 ((vi - (cmpi + SOM2 ((cmoi + cmqi) * \\ & * t/xi))) * xi) \end{aligned} \quad (5.3)$$

IV.4.1.1.1 - TEMPO DE PRODUÇÃO

O tempo total de produção em um processo é constituído de duas partes:

- tempo de preparação da máquina
- tempo de impressão do papel

Na máquina de impressão, este tempo será relevante devido às dificuldades de acerto de cor encontradas. Nas demais máquinas, este tempo é relativamente pequeno comparado ao tempo de impressão do papel.

O tempo total dentro de um processo será:

$$T = t_0 + 10 * x_i / V \quad (5.4)$$

sendo : t_0 = tempo de preparação da máquina

V = velocidade de impressão (m / h)

Como a unidade de x é o rolo de papel, e corresponde a 10 m, multiplicamos o valor de x_i por 10 para se chegar à unidade em metros.

Este tempo total de produção poderá ser rateado a cada rolo, isto é, poderemos obter o tempo gasto na produção de um rolo de papel. Para isto, basta dividir o tempo total no processo pela quantidade total de rolos produzidos. Este tempo fica da seguinte forma:

$$t = \frac{T}{x_i} = \frac{1}{x_i} * \left(t_0 + \frac{10 * x_i}{V} \right) \quad (5.5)$$

Com este valor de t , a equação (5.3) fica da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \max \text{ lucro, lucro} = & \text{SOM1} (v_i * x_i - (\text{cm}_{pi} + \text{SOM2} (\text{cm}_{oi} + \text{cm}_{qi}) * \\ & \frac{10 * x_i}{V} * (t_0 + \frac{10 * x_i}{V}))) \end{aligned} \quad (5.6)$$

ou

$$\begin{aligned} \max \text{ lucro, lucro} &= \text{SOM1 (vi - cmpi - SOM2 (cmoi + cmqi) * ----) *} \\ &\quad \text{V} \\ &\quad * x_1 - (\text{SOM2 (cmoi + cmqi) * to}) \quad (5.7) \end{aligned}$$

IV.4.1.1.2 - CUSTO DA MATÉRIA PRIMA

O principal item deste custo é o papel, que é especialmente fabricado para atender às necessidades deste produto. Isto faz com que o seu preço seja relativamente alto, e ao mesmo tempo cria uma certa dependência da empresa em relação à sua fornecedora.

Outra matéria prima usada no processo é a tinta. Apesar da tinta possuir um preço elevado, a sua influência no custo final da matéria prima é bem menor do que se poderia imaginar, pois a quantidade aplicada é relativamente pequena em relação ao papel. Quanto maior o número de cores, maior será a sua influência neste custo.

Como matéria prima ainda temos o verniz de "P.V.A.", que também tem pouca influência no custo final.

IV.4.1.1.3 - CUSTO DE MÃO-DE-OBRA

É um valor já fornecido pela empresa, onde os fatores determinantes para o seu cálculo são:

- salário do funcionário.
- encargos sociais.
- horas extras.

Basicamente temos dois valores neste custo:

- custo hora de um responsável em cada processo.
- custo hora de um ajudante.

Como exemplo, a máquina de impressão do papel trabalha com um responsável e dois ajudantes.

IV.4.1.1.4 - CUSTO DA MÁQUINA

Neste custo temos quatro principais fatores :

- Depreciação.
- Manutenção.
- Juros sobre o capital investido.
- Energia consumida.

No custo com a depreciação será considerado o modelo da depreciação linear. A vida útil dos equipamentos é estimada em 10 anos. Portanto, o custo anual com a depreciação terá o seguinte valor:

$$cdep = 0,1 * V \quad (5.8)$$

sendo V o valor real do equipamento.

Para o custo com a manutenção será atribuída uma média anual de 15% do valor real da máquina. Este dado foi obtido através de resultados dos anos anteriores. Portanto, este custo fica da seguinte forma:

$$cman = 0,15 * V \quad (5.9)$$

Os Juros sobre o capital investido correspondem a uma perda de oportunidade para lucros por parte da empresa, isto é, se a empresa investisse este capital no mercado financeiro, ela teria uma taxa mínima de retorno assegurado. Esta taxa será obtida através de uma análise do comportamento do mercado financeiro.

Para efeito de cálculos deste custo no presente trabalho, consideramos esta taxa em torno de 20% a.a.. O cálculo deste custo fica da seguinte forma:

$$cjci = 0,20 * V \quad (5.10)$$

Com estas informações, obtemos o valor do custo anual do equipamento através da soma destes três custos discutidos acima:

$$Caeq = cdep + cman + cjci \quad (5.11)$$

Porém, para efeito de utilização deste custo, deveremos calcular o seu valor por hora de uso. A quantidade de horas trabalhadas durante um ano é de 4325 horas, o que corresponde ao trabalho de dois turnos. O custo horário da máquina fica:

$$caeq = Cmaq / 4325 \quad (5.12)$$

O consumo de energia é outro fator relevante dentro deste custo. O custo da energia elétrica é de Cz\$ 0,52 por Kw. Para se obter o gasto com o consumo da energia elétrica, foi feito um levantamento das potências das máquinas. O custo por hora de utilização da máquina será calculado multiplicando-se o custo da energia elétrica pela potência da máquina.

$$cele = pot * 0,52 \quad (5.13)$$

Portanto, o custo por hora de uso do equipamento fica:

$$cmqi = caeq + cele \quad (5.14)$$

Este valor de cmqi é o mesmo utilizado na equação (5.7).

IV.4.1.2 - PREÇO DE VENDA

Basicamente há quatro preços para o papel de parede, que são divididas da seguinte forma:

- Texturizado
- Nacarado
- Relevo
- Comum

Na classe do Texturizado é utilizado um papel de menor qualidade, e portanto, de menor preço.

O papel nacarado, além de passar por todos os processos habituais, recebe no final do processo uma camada de verniz perolizado.

O papel com relevo é composto de duas camadas de papel, fornecendo uma maior resistência à formação de alto relevo.

O papel comum passa por todo um processo normal descrito anteriormente.

Esta classificação descrita acima define as classes dos preços do produto. A classe do Papel Relevo é a mais cara por utilizar duas camadas de papel. O Nacarado vem a seguir devido à aplicação da camada perolizada, e o texturizado é a classe mais barata devido ao tipo de papel utilizado.

IV.4.2 - RESTRIÇÕES

Uma das restrições a serem aplicadas ao problema é relativo às necessidades do produto. A quantidade de cada item de P.P. a ser produzida será limitada superiormente pela quantidade prevista a ser vendida no mês acrescida de uma margem de segurança e subtraída da quantidade do estoque do mês anterior.

O seu cálculo fica da seguinte forma:

$$R_i = Q_p + \text{Seg} - E_i \quad (5.15)$$

sendo: R_i = restrição da quantidade máxima do item.

Q_p = quantidade de venda prevista.

Seg = Margem de segurança.

E_i = estoque no início do mês.

No entanto, este valor de R_i deve ser ajustado de forma a atender certas exigências da produção. A produção do P.P. é feito por bobinas de papel. Isto faz com que cada item de P.P. seja programado para ser produzido em unidade de bobinas. A média de rolos de papel produzidos em cada bobina é de 290. Desta forma, os novos valores de R_i devem ser múltiplos deste valor.

Exemplificando, seja:

$$Qp = 1523$$

$$Seg = 530$$

$$Ei = 705$$

$$Ri = 1523 + 530 - 705$$

$$Ri = 1348$$

$$\text{número de bobinas} = 4,65$$

portanto, o número de bobinas para a produção deste item é de 5, ou de 1450 rolos.

A quantidade de venda prevista foi analisada no capítulo 4, e através deste valor calculado, aplicaremos neste modelo.

A margem de segurança corresponde ao estoque de segurança, que é um valor já disponível na empresa.

Uma outra restrição importante se refere ao tempo disponível das máquinas envolvidas no processo. Especificamente neste processo encontramos 4 máquinas. O equacionamento desta restrição para cada máquina é:

$$\text{SOM} (Ti) \leq Td \quad (5.16)$$

sendo: Ti = tempo gasto na produção de um item.

Td = tempo disponível da máquina em um mês.

Os tempos citados acima serão calculados em horas.

O tempo T_i pode ser decomposto em duas parcelas, sendo a primeira correspondente ao tempo de preparação da máquina para a produção de um certo item, e o segundo termo correspondente ao tempo efetivamente gasto para a produção. Neste caso temos:

$$T_i = T_{\text{prep}} + T_{\text{prod}} = T_{\text{prep}} + \frac{10 * x_i}{V} \quad (5.17)$$

sendo: T_{prep} = tempo de preparação da máquina para a produção de um item.

T_{prod} = tempo de produção do item.

V = velocidade de produção do papel na máquina.

x_i = número de rolos a serem produzidos por item.

A somatória fica:

$$\text{SOM} (T_{\text{prep}}) + \text{SOM} (\frac{10 * x_i}{V}) \leq T_d \quad (5.18)$$

Como no método simplex o que importa são os termos das

variáveis da função objetivo, e como o tempo de preparação da máquina é um termo independente, esta somatória dos tempos de preparação será calculada juntamente com o valor de T_d . Desta forma temos:

$$\text{SOM} \left(\frac{10 * x_i}{v} \right) \leq T_d - \text{SOM} (T_{\text{prep}}) \quad (5.19)$$

IV.5 - PROCESSAMENTO

Para o cálculo do valor máximo da função objetivo utilizaremos o método Simplex, uma vez que nos defrontamos com uma função linear.

Os procedimentos necessários para se chegar a esta fase são:

- levantamento dos custos de produção.
- levantamento do tempo de produção das máquinas e do tempo de preparação da máquina para cada item.
- levantamento dos preços de venda.
- cálculo da previsão de venda de cada item.

Todos estes itens foram analisados anteriormente.

Após o processamento de todas estas informações, poderão ocorrer dois resultados:

- a primeira possibilidade é que todas as restrições referentes às quantidades máximas previstas para a produção de cada item tenham folga zero como resultado, isto é, todas as necessidades de produção da empresa foram atendidas, ocorrendo uma certa ociosidade das máquinas.

- a segunda possibilidade é que todas as restrições referentes ao tempo de uso das máquinas tenham folga zero, isto é,

nem todos os itens necessários para serem produzidos no mês poderão ser atendidos. Neste caso, verificamos uma certa dependência em relação às máquinas. Como o processo de produção é semelhante a todos os itens, poderá ocorrer que apenas uma máquina provoque a limitação da produção da empresa.

Na segunda possibilidade nos deparamos com um problema:

- no primeiro processamento do método Simplex consideramos a soma de todos os tempos de preparação de cada item nas máquinas (ver eq. 5.16), o que nesta hipótese não estaria ocorrendo, uma vez que se algum item do P.P. não for produzido, não existiria o tempo gasto para a sua preparação. Neste caso, estar-se-ia considerando que a máquina esteve um certo tempo parada sendo preparada para a produção de um certo item que no final nem sequer foi produzido. Esta suposição fará com que a máquina tenha uma certa ociosidade.

Uma forma de contornar este problema é a aplicação de um processo iterativo, objetivando eliminar esta ociosidade. A seguir mostramos o procedimento deste processo.

No primeiro processamento, assume-se a produção de todos os itens, calculando o tempo disponível para a produção, e descontando todos os tempos de preparação da máquina. Este tempo é calculado da seguinte forma:

$$T_l = T_d - \text{SOM} (T_{\text{prep}}) \quad (5.20)$$

sendo: T_l = tempo máximo de produção do P.P. na primeira iteração.

No caso do resultado deste processamento indicar que todos os itens foram produzidos, não haverá a necessidade de prosseguir.

No caso do resultado indicar que alguns itens não foram produzidos, calculamos a soma de todos os seus tempos de preparação. Este será o tempo ocioso previsto para esta máquina como resultado deste primeiro processamento, que denominaremos de T_{ocio} .

Face a esta ociosidade da máquina obtida neste processamento, observamos que o tempo T_l corresponde a um valor mínimo de utilização da máquina para a produção. Outra observação possível nesta etapa é que o seu valor máximo não pode ser maior do que a soma de T_l com T_{ocio} . Através destas observações, chegamos a um intervalo onde provavelmente se encontra o valor ótimo do tempo de produção do P.P. onde o tempo T_{ocio} é nulo.

$$T_l < T_{\text{ot}} < T_{\text{ocio}} + T_l \quad (5.21)$$

sendo: T_{ot} = tempo de produção do P.P. onde T_{ocio} é nulo.

O valor de T_{ocio} é calculado da seguinte forma:

$$T_{ocio} = T_d - (\text{SOM} (T_{prep}) + T_l) \quad (5.22)$$

Para a localização do valor do Tot, procederemos da seguinte forma:

- calculamos o ponto médio do intervalo:

$$T_{\text{médio}} = \frac{T_l + (T_l + T_{ocio})}{2} \quad (5.23)$$

- o novo valor do tempo de produção T_2 será igual ao $T_{\text{médio}}$.

- através do valor de T_2 , processamos novamente o Simplex obtendo um novo valor para o T_{ocio} .

- repetimos o procedimento acima até obter um valor do tempo ocioso igual a zero ou próximo ao zero dentro de uma tolerância pré-definida.

As equações que representam este procedimento podem ser representados da seguinte forma:

$$T_l = T_d - \text{SOM} (T_{prep})$$

$$T_{ocioi} = T_d - (\text{SOM} (T_{prep}) + T_i) \quad (5.24)$$

$$T_i = \frac{T(i-1) + (T(i-1) + T_{ocioi})}{2} \quad (5.25)$$

sendo: $i = 1, 2, 3, \dots, n$

n = número de iterações necessárias

$T(i-1)$ = valor do tempo de produção processado
na iteração anterior

IV.6 - EXEMPLO DE PROGRAMAÇÃO

Como exemplo de programação do modelo proposto, processaremos os dados levantados para um determinado mês.

Mais uma vez, devido a alguns dados serem confidenciais para a empresa, eles foram ligeiramente alterados nesta publicação, porém os resultados não foram consideravelmente afetados.

A tabela dos custos de produção conforme foi descrito no item IV.4.1.1.4 é mostrado na tabela 5.1.

Na tabela 5.2 temos o tratamento dos dados para a posterior entrada dos dados no método Simplex.

Aqui temos duas opções para o processamento da programação linear:

- utilização do programa "Tempo", que é processado no computador Burroughs B6900 da USP.

- utilização de um software "Simplex" desenvolvido na própria empresa. Este programa utiliza o método das duas fases, diferindo do método tradicional da programação linear por utilizar uma função objetivo auxiliar. Este programa é processado no microcomputador, sendo necessárias as seguintes configurações extras:

- processador 8087
- mínimo de 512 Kbytes

No nosso caso foi escolhido o Simplex devido à facilidade de processamento, e também pela necessidade de vários processamentos, uma vez que o nosso problema trata de uma iteração da programação linear. O programa também possui a análise de sensibilidade, conforme poderá ser visto na listagem dos resultados.

Este programa foi desenvolvido durante o estágio realizado na empresa em conjunto com outros analistas de sistema.

O modelo que será processado na programação contem 44 variáveis correspondentes a cada item, e 48 restrições, sendo 44 correspondentes a cada item e os outros 4 correspondentes às limitações de tempo das 4 máquinas envolvidas no processo.

Os resultados dos processamentos de cada iteração podem ser analisados nas tabelas de 5.3 a 5.6. Os dados de entrada do método na última iteração poderão ser analisados no anexo VII.4.

Após o primeiro processamento, verificou-se que a restrição limitante da produção era o tempo de utilização da maquinade impressão. O valor do tempo disponível para a produção neste processamento foi de 44,4 horas. O resultado obtido nesta etapa mostrou um tempo ocioso de 80,16 horas.

Pela equação (5.25) o novo valor deste tempo passou a ser de 84,5 horas, sendo feito um novo processamento com este valor. O novo resultado obtido demonstrou um tempo ocioso de 6,2 horas.

Desta forma, é feito o terceiro processamento com o valor do tempo igual a 87,57 horas, conforme a equação (5.25). O resultado deste processamento indicou que o tempo ocioso passou a ser negativo, com o valor de 1,12 horas, isto é, o número de horas programadas para o funcionamento da máquina foi superior ao disponível.

Parte-se, então, para um novo processamento com o tempo igual a 87,01 de onde se obtém um valor de tempo ocioso aproximadamente igual a zero, satisfazendo a condição de parada.

MAQUINA	VALOR DA MAQUINA	JUROS DO CAPITAL INVESTIDO	DEPRE- CIACAO	MANUTEN- CAO	TOTAL CUSTO ANUAL	TOTAL CUSTO HORA	POTENCIA MAQUINA (HP)	TOTAL CUSTO/H ENERGIA	TAXA HORA MAQUINA	MAO DE OBRA DIRETA	TOTAL CUSTO/H FABRIC.
FLEXOGRAFICA II	1,217.04	238.07	121.70	182.56	\$57,704.36	\$13.34	48.00	\$18.72	\$32.06	\$72.93	\$104.99
GOLFRADORA	806.90	157.84	80.69	121.03	\$38,258.09	\$8.84	15.00	\$5.85	\$14.69	\$27.97	\$42.66
LABIO	1,107.90	216.73	110.79	166.19	\$52,529.78	\$12.14	27.75	\$10.82	\$22.97	\$27.97	\$50.94
ENROLADORA	528.68	103.42	52.87	79.30	\$25,066.59	\$5.79	2.20	\$0.86	\$6.65	\$67.44	\$74.09

CUSTO DE PRODUÇÃO

Tabela 5.1

RESPOSTAS - Variaveis

Primeiro processamento

X01 =	0,0000
X02 =	0,0000
X03 =	0,0000
X04 =	0,0000
X05 =	0,0000
X06 =	0,0000
X07 =	0,0000
X08 =	0,0000
X09 =	0,0000
X10 =	0,0000
X11 =	0,0000
X12 =	0,0000
X13 =	0,0000
X14 =	0,0000
X15 =	0,0000
X16 =	0,0000
X17 =	0,0000
X18 =	0,0000
X19 =	0,0000
X20 =	580,0000
X21 =	580,0000
X22 =	0,0000
X23 =	227,3333
X24 =	870,0000
X25 =	0,0000
X26 =	0,0000
X27 =	0,0000
X28 =	580,0000
X29 =	580,0000
X30 =	580,0000
X31 =	0,0000
X32 =	0,0000
X33 =	0,0000
X34 =	0,0000
X35 =	870,0000
X36 =	580,0000
X37 =	580,0000
X38 =	580,0000
X39 =	580,0000
X40 =	870,0000
X41 =	580,0000
X42 =	580,0000
X43 =	580,0000
X44 =	580,0000

Timp = 44,4 hs
Tgol = 80,7 hs
Tláb = 127,6 hs
Tenr = 176,0 hs

RESPOSTAS - Folgas das Restricoes

FR01 =	1.740,0000
FR02 =	1.740,0000
FR03 =	580,0000
FR04 =	580,0000
FR05 =	580,0000

Tabela 5.3

FR06 =	580,0000
FR07 =	580,0000
FR08 =	580,0000
FR09 =	580,0000
FR10 =	1.740,0000
FR11 =	2.030,0000
FR12 =	580,0000
FR13 =	580,0000
FR14 =	1.160,0000
FR15 =	580,0000
FR16 =	870,0000
FR17 =	580,0000
FR18 =	580,0000
FR19 =	1.160,0000
FR20 =	0,0000
FR21 =	0,0000
FR22 =	580,0000
FR23 =	352,6667
FR24 =	0,0000
FR25 =	580,0000
FR26 =	580,0000
FR27 =	870,0000
FR28 =	0,0000
FR29 =	0,0000
FR30 =	0,0000
FR31 =	1.160,0000
FR32 =	580,0000
FR33 =	580,0000
FR34 =	580,0000
FR35 =	0,0000
FR36 =	0,0000
FR37 =	0,0000
FR38 =	0,0000
FR39 =	0,0000
FR40 =	0,0000
FR41 =	0,0000
FR42 =	0,0000
FR43 =	0,0000
FR44 =	0,0000
FR45 =	0,0000
FR46 =	59,8973
FR47 =	103,7321
FR48 =	142,7925

Tabela 5.3 (cont.)

RESPOSTAS - Variaveis

X01 =	1.740,0000	Segundo processamento
X02 =	1.740,0000	
X03 =	0,0000	Timp = 84,5 hs
X04 =	0,0000	Tgol = 80,7 hs
X05 =	0,0000	Tláb = 127,6 hs
X06 =	580,0000	Tenr = 176,0,hs
X07 =	0,0000	
X08 =	10,0000	
X09 =	580,0000	
X10 =	0,0000	
X11 =	0,0000	
X12 =	0,0000	
X13 =	580,0000	
X14 =	1.160,0000	
X15 =	580,0000	
X16 =	0,0000	
X17 =	0,0000	
X18 =	0,0000	
X19 =	0,0000	
X20 =	580,0000	
X21 =	580,0000	
X22 =	580,0000	
X23 =	580,0000	
X24 =	870,0000	
X25 =	580,0000	
X26 =	580,0000	
X27 =	870,0000	
X28 =	580,0000	
X29 =	580,0000	
X30 =	580,0000	
X31 =	0,0000	
X32 =	0,0000	
X33 =	0,0000	
X34 =	0,0000	
X35 =	870,0000	
X36 =	580,0000	
X37 =	580,0000	
X38 =	580,0000	
X39 =	580,0000	
X40 =	870,0000	
X41 =	580,0000	
X42 =	580,0000	
X43 =	580,0000	
X44 =	580,0000	

RESPOSTAS - Folgas das Restricoes

FR01 =	0,0000
FR02 =	0,0000
FR03 =	580,0000
FR04 =	580,0000
FR05 =	580,0000

Tabela 5.4

FR06 =	0,0000
FR07 =	580,0000
FR08 =	570,0000
FR09 =	0,0000
FR10 =	1.740,0000
FR11 =	2.030,0000
FR12 =	580,0000
FR13 =	0,0000
FR14 =	0,0000
FR15 =	0,0000
FR16 =	870,0000
FR17 =	580,0000
FR18 =	580,0000
FR19 =	1.160,0000
FR20 =	0,0000
FR21 =	0,0000
FR22 =	0,0000
FR23 =	0,0000
FR24 =	0,0000
FR25 =	0,0000
FR26 =	0,0000
FR27 =	0,0000
FR28 =	0,0000
FR29 =	0,0000
FR30 =	0,0000
FR31 =	1.160,0000
FR32 =	580,0000
FR33 =	580,0000
FR34 =	580,0000
FR35 =	0,0000
FR36 =	0,0000
FR37 =	0,0000
FR38 =	0,0000
FR39 =	0,0000
FR40 =	0,0000
FR41 =	0,0000
FR42 =	0,0000
FR43 =	0,0000
FR44 =	0,0000
FR45 =	0,0000
FR46 =	40,0320
FR47 =	80,8870
FR48 =	111,0080

RESPOSTAS - Variaveis

X01 =	1.740,0000	Terceira processamento
X02 =	1.740,0000	
X03 =	0,0000	Timp = 87,6 hs
X04 =	395,8250	Tgol = 80,7 hs
X05 =	0,0000	Tláb = 127,6 hs
X06 =	580,0000	Tenr = 176,0 hs
X07 =	0,0000	
X08 =	580,0000	
X09 =	580,0000	
X10 =	0,0000	
X11 =	0,0000	
X12 =	0,0000	
X13 =	580,0000	
X14 =	1.160,0000	
X15 =	580,0000	
X16 =	0,0000	
X17 =	0,0000	
X18 =	0,0000	
X19 =	0,0000	
X20 =	580,0000	
X21 =	580,0000	
X22 =	580,0000	
X23 =	580,0000	
X24 =	870,0000	
X25 =	580,0000	
X26 =	580,0000	
X27 =	870,0000	
X28 =	580,0000	
X29 =	580,0000	
X30 =	580,0000	
X31 =	0,0000	
X32 =	0,0000	
X33 =	0,0000	
X34 =	0,0000	
X35 =	870,0000	
X36 =	580,0000	
X37 =	580,0000	
X38 =	580,0000	
X39 =	580,0000	
X40 =	870,0000	
X41 =	580,0000	
X42 =	580,0000	
X43 =	580,0000	
X44 =	580,0000	

RESPOSTAS - Folgas das Restricoes

FR01 =	0,0000
FR02 =	0,0000
FR03 =	580,0000
FR04 =	184,3750
FR05 =	580,0000

Tabela 5.5

FR06 =	0,0000
FR07 =	580,0000
FR08 =	0,0000
FR09 =	0,0000
FR10 =	1.740,0000
FR11 =	2.030,0000
FR12 =	580,0000
FR13 =	0,0000
FR14 =	0,0000
FR15 =	0,0000
FR16 =	870,0000
FR17 =	580,0000
FR18 =	580,0000
FR19 =	1.160,0000
FR20 =	0,0000
FR21 =	0,0000
FR22 =	0,0000
FR23 =	0,0000
FR24 =	0,0000
FR25 =	0,0000
FR26 =	0,0000
FR27 =	0,0000
FR28 =	0,0000
FR29 =	0,0000
FR30 =	0,0000
FR31 =	1.160,0000
FR32 =	580,0000
FR33 =	580,0000
FR34 =	580,0000
FR35 =	0,0000
FR36 =	0,0000
FR37 =	0,0000
FR38 =	0,0000
FR39 =	0,0000
FR40 =	0,0000
FR41 =	0,0000
FR42 =	0,0000
FR43 =	0,0000
FR44 =	0,0000
FR45 =	0,0000
FR46 =	38,1008
FR47 =	78,6661
FR48 =	107,9180

Tabela 5.5 (cont.)

RESPOSTAS - Variaveis

X01 =	1.740,0000	Quarta processamento
X02 =	1.740,0000	
X03 =	0,0000	Timp = 87,0 hs
X04 =	220,6250	Tgol = 80,7 hs
X05 =	0,0000	Tlab = 127,6 hs
X06 =	580,0000	Tenr = 176,0 hs
X07 =	0,0000	
X08 =	580,0000	
X09 =	580,0000	
X10 =	0,0000	
X11 =	0,0000	
X12 =	0,0000	
X13 =	580,0000	
X14 =	1.160,0000	
X15 =	580,0000	
X16 =	0,0000	
X17 =	0,0000	
X18 =	0,0000	
X19 =	0,0000	
X20 =	580,0000	
X21 =	580,0000	
X22 =	580,0000	
X23 =	580,0000	
X24 =	870,0000	
X25 =	580,0000	
X26 =	580,0000	
X27 =	870,0000	
X28 =	580,0000	
X29 =	580,0000	
X30 =	580,0000	
X31 =	0,0000	
X32 =	0,0000	
X33 =	0,0000	
X34 =	0,0000	
X35 =	870,0000	
X36 =	580,0000	
X37 =	580,0000	
X38 =	580,0000	
X39 =	580,0000	
X40 =	870,0000	
X41 =	580,0000	
X42 =	580,0000	
X43 =	580,0000	
X44 =	580,0000	

RESPOSTAS - Folgas das Restricoes

FR01 =	0,0000
FR02 =	0,0000
FR03 =	580,0000
FR04 =	359,3750
FR05 =	580,0000

Tabela 5.6

FR06 =	0,0000
FR07 =	580,0000
FR08 =	0,0000
FR09 =	0,0000
FR10 =	1.740,0000
FR11 =	2.030,0000
FR12 =	580,0000
FR13 =	0,0000
FR14 =	0,0000
FR15 =	0,0000
FR16 =	870,0000
FR17 =	580,0000
FR18 =	580,0000
FR19 =	1.160,0000
FR20 =	0,0000
FR21 =	0,0000
FR22 =	0,0000
FR23 =	0,0000
FR24 =	0,0000
FR25 =	0,0000
FR26 =	0,0000
FR27 =	0,0000
FR28 =	0,0000
FR29 =	0,0000
FR30 =	0,0000
FR31 =	1.160,0000
FR32 =	580,0000
FR33 =	580,0000
FR34 =	580,0000
FR35 =	0,0000
FR36 =	0,0000
FR37 =	0,0000
FR38 =	0,0000
FR39 =	0,0000
FR40 =	0,0000
FR41 =	0,0000
FR42 =	0,0000
FR43 =	0,0000
FR44 =	0,0000
FR45 =	0,0000
FR46 =	38,4508
FR47 =	79,0686
FR48 =	108,4780

VARIAVEIS - Valores minimos

MinX01 =	31,7600
MinX02 =	31,7600
MinX04 =	31,7300
MinX06 =	31,7600
MinX08 =	31,7600
MinX09 =	31,7600
MinX13 =	31,7600
MinX14 =	31,7600

VARIAVEIS - Valores maximos

MaxX01 =	32,4500
MaxX02 =	32,4500
MaxX04 =	31,8600
MaxX06 =	31,9300
MaxX08 =	31,8600
MaxX09 =	32,2400
MaxX13 =	32,0800
MaxX14 =	32,0800

Tabela 5.6 (cont.)

MinX15 =	31,7600	MaxX15 =	32,0800
MinX20 =	59,5500	MaxX20 =	79,2100
MinX21 =	59,5500	MaxX21 =	79,2600
MinX22 =	59,5500	MaxX22 =	79,1100
MinX23 =	59,5500	MaxX23 =	79,1100
MinX24 =	59,5500	MaxX24 =	79,4600
MinX25 =	59,5500	MaxX25 =	78,9100
MinX26 =	59,5500	MaxX26 =	78,9100
MinX27 =	59,5500	MaxX27 =	78,8600
MinX28 =	59,5500	MaxX28 =	79,3900
MinX29 =	59,5500	MaxX29 =	79,3900
MinX30 =	59,5500	MaxX30 =	79,4300
MinX35 =	31,7600	MaxX35 =	43,5600
MinX36 =	31,7600	MaxX36 =	53,5400
MinX37 =	31,7600	MaxX37 =	53,5400
MinX38 =	31,7600	MaxX38 =	53,3600
MinX39 =	31,7600	MaxX39 =	53,3600
MinX40 =	31,7600	MaxX40 =	53,3600
MinX41 =	31,7600	MaxX41 =	53,7800
MinX42 =	31,7600	MaxX42 =	53,7800
MinX43 =	31,7600	MaxX43 =	53,6600
MinX44 =	31,7600	MaxX44 =	53,5500

VARIAVEIS - Valores de substituicao

SubX03 =	31,7600
SubX05 =	31,7600
SubX07 =	31,7600
SubX10 =	31,7600
SubX11 =	31,7600
SubX12 =	31,7600
SubX16 =	31,7600
SubX17 =	31,7600
SubX18 =	31,7600
SubX19 =	31,7600
SubX31 =	59,5500
SubX32 =	59,5500
SubX33 =	59,5500
SubX34 =	59,5500

RESTRICOES - Shadow values

ShdR01 =	0,6900
ShdR02 =	0,6900
ShdR06 =	0,1700
ShdR08 =	0,1000
ShdR09 =	0,4800
ShdR13 =	0,3200
ShdR14 =	0,3200
ShdR15 =	0,3200
ShdR20 =	19,6600
ShdR21 =	19,7100
ShdR22 =	19,5600
ShdR23 =	19,5600
ShdR24 =	19,9100

Tabela 5.6 (cont.)

ShdR25 =	19,3600
ShdR26 =	19,3600
ShdR27 =	19,3100
ShdR28 =	19,8400
ShdR29 =	19,8400
ShdR30 =	19,8800
ShdR35 =	11,8000
ShdR36 =	21,7800
ShdR37 =	21,7800
ShdR38 =	21,6000
ShdR39 =	21,6000
ShdR40 =	21,6000
ShdR41 =	22,0200
ShdR42 =	22,0200
ShdR43 =	21,9000
ShdR44 =	21,7900
ShdR45 =	9.925,0000

MAXIMO DA FUNCAO = 1.134.063,0500

Tabela 5.6 (cont.)

IV.7 - ANÁLISE DO RESULTADO DA PROGRAMAÇÃO

Verificou-se que a máquina de impressão do papel é a máquina onde ocorre a limitação da produção, ou seja, é o gargalo de todo o processo produtivo. Isto é mostrado pela restrição número 45, onde a folga é nula.

A análise de sensibilidade mostra que o acréscimo de pelo menos mais uma hora de impressão acarretaria um grande acréscimo no valor da função objetivo, isto é, o lucro para a empresa seria muito maior neste caso.

A tabela 5.7 mostra uma comparação entre o resultado do processamento e o resultado real da produção no mes. O lucro bruto obtido pelo modelo seria de Cz\$ 923.324,00 ao passo que o lucro obtido pela empresa foi de Cz\$ 834.435,00. Obteve-se desta forma um adicional de Cz\$ 88.889,00, ou seja, 10,65%.

Quadro Comparativo
Programacao real x Programacao do modelo

CODIGO	Qtidade Prevista	Qtidade Calculada Simplex	Qtidade Produzida (real)
101.01	1740	1740	1740
101.02	1740	1740	1740
101.03	580	0	580
104.02	580	580	580
104.05	580	0	0
105.02	580	580	0
108.01	580	0	0
121.05	580	580	580
132.03	1740	1740	1740
151.02	2030	0	2030
151.13	580	0	580
151.15	580	0	580
152.01	1160	1160	1160
152.02	580	580	580
152.03	870	870	870
153.01	580	0	0
153.02	580	0	0
153.03	1160	0	0
153.04	580	0	580
402.03	580	580	580
404.03	580	580	580
405.01	580	580	0
405.02	870	870	870
408.01	580	580	0
410.01	580	580	580
410.02	870	870	0
410.03	580	580	0
415.01	580	580	580
415.02	580	580	580
420.01	1160	1160	0
801.01	580	0	580
801.02	580	0	580
810.01	580	0	580
810.02	870	0	870
820.01	580	580	580
821.04	580	580	0
821.05	580	580	580
822.01	580	580	580
822.04	580	580	0
822.05	870	870	0
830.01	580	580	580
830.05	580	580	580
842.03	580	580	0
863.05	580	580	580

Tabela 5.7

CONCLUSÃO

VI - CONCLUSÃO

Durante a análise do processo produtivo, foram levantados alguns problemas referentes à qualidade do produto e ao próprio processo. A proposta de se realizar o acerto de cor fora da máquina de impressão é altamente viável, fazendo com que o tempo de parada da máquina diminua sensivelmente, além de ter um custo relativamente baixo para a implantação.

O estudo da programação linear desenvolvido oferece como benefício imediato o aumento do lucro da empresa, quando comparado ao sistema atual. O modelo permite à empresa produzir apenas aqueles itens que propiciam maiores lucros dentro das suas capacidades produtivas.

Devido a certas peculiaridades do processo, principalmente devido ao tempo de preparação da máquina, a resolução do problema de programação não se restringiu a uma simples programação linear, mas a um processo iterativo da programação linear.

O estudo da previsão de vendas foi incluído neste trabalho com o intuito de ser aproveitado como uma ferramenta da programação da produção, e trouxe como resultado uma maior precisão nas previsões de vendas do produto.

VI - BIBLIOGRAFIA

VI.1 - Bronson, Richard - Pesquisa Operacional

São Paulo - McGraw-Hill, 1985

VI.2 - Wagner, Harvey M. - Principles of Operations Research

New Jersey - Prentice-Hall, 1969

VI.3 - Oliva, Francisco de A. C. - Previsão de Vendas

São Paulo - FCAV - 1981

ANEXOS

VARIAVEIS - Valores minimos

MinX20 =	79,1100
MinX21 =	79,1100
MinX23 =	78,9100
MinX24 =	79,1100
MinX28 =	79,1100
MinX29 =	79,1100
MinX30 =	79,1100
MinX35 =	42,1920
MinX36 =	42,1920
MinX37 =	42,1920
MinX38 =	42,1920
MinX39 =	42,1920
MinX40 =	42,1920
MinX41 =	42,1920
MinX42 =	42,1920
MinX43 =	42,1920
MinX44 =	42,1920

VARIAVEIS - Valores maximos

MaxX20 =	79,2100
MaxX21 =	79,2600
MaxX23 =	79,2100
MaxX24 =	79,4600
MaxX28 =	79,3900
MaxX29 =	79,3900
MaxX30 =	79,4300
MaxX35 =	43,5600
MaxX36 =	53,5400
MaxX37 =	53,5400
MaxX38 =	53,3600
MaxX39 =	53,3600
MaxX40 =	53,3600
MaxX41 =	53,7800
MaxX42 =	53,7800
MaxX43 =	53,6600
MaxX44 =	53,5500

VARIAVEIS - Valores de substituicao

SubX01 =	42,1920
SubX02 =	42,1920
SubX03 =	42,1920
SubX04 =	42,1920
SubX05 =	42,1920
SubX06 =	42,1920
SubX07 =	42,1920
SubX08 =	42,1920
SubX09 =	42,1920
SubX10 =	42,1920
SubX11 =	42,1920
SubX12 =	42,1920
SubX13 =	42,1920
SubX14 =	42,1920
SubX15 =	42,1920
SubX16 =	42,1920
SubX17 =	42,1920
SubX18 =	42,1920
SubX19 =	42,1920
SubX22 =	79,1100
SubX25 =	79,1100
SubX26 =	79,1100
SubX27 =	79,1100
SubX31 =	79,1100
SubX32 =	79,1100
SubX33 =	79,1100
SubX34 =	79,1100

Anexo VII.1

RESTRICOES - Shadow values

ShdR20 =	0,1000
ShdR21 =	0,1500
ShdR24 =	0,3500
ShdR28 =	0,2800
ShdR29 =	0,2800
ShdR30 =	0,3200
ShdR35 =	1,3680
ShdR36 =	11,3480
ShdR37 =	11,3480
ShdR38 =	11,1680
ShdR39 =	11,1680
ShdR40 =	11,1680
ShdR41 =	11,5880
ShdR42 =	11,5880
ShdR43 =	11,4680
ShdR44 =	11,3580
ShdR45 =	13.185,0000

MAXIMO DA FUNCAO = 650.079,9400

Anexo VII.1 (cont.)

VARIAVEIS - Valores minimos

MinX01 =	31,8600
MinX02 =	31,8600
MinX06 =	31,8600
MinX08 =	31,7600
MinX09 =	31,8600
MinX13 =	31,8600
MinX14 =	31,8600
MinX15 =	31,8600
MinX20 =	59,7375
MinX21 =	59,7375
MinX22 =	59,7375
MinX23 =	59,7375
MinX24 =	59,7375
MinX25 =	59,7375
MinX26 =	59,7375
MinX27 =	59,7375
MinX28 =	59,7375
MinX29 =	59,7375
MinX30 =	59,7375
MinX35 =	31,8600
MinX36 =	31,8600
MinX37 =	31,8600
MinX38 =	31,8600
MinX39 =	31,8600
MinX40 =	31,8600
MinX41 =	31,8600
MinX42 =	31,8600
MinX43 =	31,8600
MinX44 =	31,8600

VARIAVEIS - Valores maximos

MaxX01 =	32,4500
MaxX02 =	32,4500
MaxX06 =	31,9300
MaxX08 =	31,9300
MaxX09 =	32,2400
MaxX13 =	32,0800
MaxX14 =	32,0800
MaxX15 =	32,0800
MaxX20 =	79,2100
MaxX21 =	79,2600
MaxX22 =	79,1100
MaxX23 =	79,1100
MaxX24 =	79,4600
MaxX25 =	78,9100
MaxX26 =	78,9100
MaxX27 =	78,8600
MaxX28 =	79,3900
MaxX29 =	79,3900
MaxX30 =	79,4300
MaxX35 =	43,5600
MaxX36 =	53,5400
MaxX37 =	53,5400
MaxX38 =	53,3600
MaxX39 =	53,3600
MaxX40 =	53,3600
MaxX41 =	53,7800
MaxX42 =	53,7800
MaxX43 =	53,6600
MaxX44 =	53,5500

VARIAVEIS - Valores de substituicao

SubX03 =	31,8600
SubX04 =	31,8600
SubX05 =	31,8600
SubX07 =	31,8600
SubX10 =	31,8600
SubX11 =	31,8600
SubX12 =	31,8600
SubX16 =	31,8600
SubX17 =	31,8600
SubX18 =	31,8600
SubX19 =	31,8600
SubX31 =	59,7375
SubX32 =	59,7375
SubX33 =	59,7375
SubX34 =	59,7375

Anexo VII.2

RESTRICOES - Shadow values

ShdR01 =	0,5900
ShdR02 =	0,5900
ShdR06 =	0,0700
ShdR09 =	0,3800
ShdR13 =	0,2200
ShdR14 =	0,2200
ShdR15 =	0,2200
ShdR20 =	19,4725
ShdR21 =	19,5225
ShdR22 =	19,3725
ShdR23 =	19,3725
ShdR24 =	19,7225
ShdR25 =	19,1725
ShdR26 =	19,1725
ShdR27 =	19,1225
ShdR28 =	19,6525
ShdR29 =	19,6525
ShdR30 =	19,6925
ShdR35 =	11,7000
ShdR36 =	21,6800
ShdR37 =	21,6800
ShdR38 =	21,5000
ShdR39 =	21,5000
ShdR40 =	21,5000
ShdR41 =	21,9200
ShdR42 =	21,9200
ShdR43 =	21,8000
ShdR44 =	21,6900
ShdR45 =	9.956,2500

MAXIMO DA FUNCAO = 1.108.895,8000

Anexo VII.2 (cont.)

VARIAVEIS - Valores minimos

MinX01 =	31,7600
MinX02 =	31,7600
MinX04 =	31,7300
MinX06 =	31,7600
MinX08 =	31,7600
MinX09 =	31,7600
MinX13 =	31,7600
MinX14 =	31,7600
MinX15 =	31,7600
MinX20 =	59,5500
MinX21 =	59,5500
MinX22 =	59,5500
MinX23 =	59,5500
MinX24 =	59,5500
MinX25 =	59,5500
MinX26 =	59,5500
MinX27 =	59,5500
MinX28 =	59,5500
MinX29 =	59,5500
MinX30 =	59,5500
MinX35 =	31,7600
MinX36 =	31,7600
MinX37 =	31,7600
MinX38 =	31,7600
MinX39 =	31,7600
MinX40 =	31,7600
MinX41 =	31,7600
MinX42 =	31,7600
MinX43 =	31,7600
MinX44 =	31,7600

VARIAVEIS - Valores maximos

MaxX01 =	32,4500
MaxX02 =	32,4500
MaxX04 =	31,8600
MaxX06 =	31,9300
MaxX08 =	31,8600
MaxX09 =	32,2400
MaxX13 =	32,0800
MaxX14 =	32,0800
MaxX15 =	32,0800
MaxX20 =	79,2100
MaxX21 =	79,2600
MaxX22 =	79,1100
MaxX23 =	79,1100
MaxX24 =	79,4600
MaxX25 =	78,9100
MaxX26 =	78,9100
MaxX27 =	78,8600
MaxX28 =	79,3900
MaxX29 =	79,3900
MaxX30 =	79,4300
MaxX35 =	43,5600
MaxX36 =	53,5400
MaxX37 =	53,5400
MaxX38 =	53,3600
MaxX39 =	53,3600
MaxX40 =	53,3600
MaxX41 =	53,7800
MaxX42 =	53,7800
MaxX43 =	53,6600
MaxX44 =	53,5500

VARIAVEIS - Valores de substitulcao

SubX03 =	31,7600
SubX05 =	31,7600
SubX07 =	31,7600
SubX10 =	31,7600
SubX11 =	31,7600
SubX12 =	31,7600
SubX16 =	31,7600
SubX17 =	31,7600
SubX18 =	31,7600
SubX19 =	31,7600
SubX31 =	59,5500
SubX32 =	59,5500
SubX33 =	59,5500
SubX34 =	59,5500

Anexo VII.3

RESTRICOES - Shadow values

ShdR01 =	0,6900
ShdR02 =	0,6900
ShdR06 =	0,1700
ShdR08 =	0,1000
ShdR09 =	0,4800
ShdR13 =	0,3200
ShdR14 =	0,3200
ShdR15 =	0,3200
ShdR20 =	19,6600
ShdR21 =	19,7100
ShdR22 =	19,5600
ShdR23 =	19,5600
ShdR24 =	19,9100
ShdR25 =	19,3600
ShdR26 =	19,3600
ShdR27 =	19,3100
ShdR28 =	19,8400
ShdR29 =	19,8400
ShdR30 =	19,8800
ShdR35 =	11,8000
ShdR36 =	21,7800
ShdR37 =	21,7800
ShdR38 =	21,6000
ShdR39 =	21,6000
ShdR40 =	21,6000
ShdR41 =	22,0200
ShdR42 =	22,0200
ShdR43 =	21,9000
ShdR44 =	21,7900
ShdR45 =	9.925,0000

MAXIMO DA FUNCAO = 1.139.621,0500

[illegible]

-89-

[illegible]

-90-

TABELA DE ENTRADA DE DADOS NO SIMPLEX

[illegible]

Anexo VII.4 (cont.)

TABELA DE ENTRADA DE DADOS NO SIMPLEX

Código	922.05	930.01	930.05	942.03	953.05	
F.Obj.	53.3600	53.7600	53.7600	53.6600	53.5500	
Rest.1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1740.00
Rest.2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1740.00
Rest.3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1740.00
Rest.11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2030.00
Rest.12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.13	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1160.00
Rest.15	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	870.00
Rest.17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.18	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.19	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1160.00
Rest.20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.22	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.23	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.24	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	870.00
Rest.25	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.26	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.27	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	870.00
Rest.28	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.29	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.30	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.31	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1160.00
Rest.32	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.33	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.34	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.35	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	870.00
Rest.36	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.37	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.38	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.39	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.40	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	870.00
Rest.41	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.42	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	580.00
Rest.43	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	580.00
Rest.44	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	580.00
Rest.45	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	87.01
Rest.46	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	30.65
Rest.47	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	127.60
Rest.48	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	176.00

Anexo VII.4 (cont.)