

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

APLICAÇÕES DE PESQUISA OPERACIONAL
NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Marcos Blauth

CAMPINA GRANDE, Agosto de 1978



B645a Blauth, Marcos
Aplicacoes de pesquisa operacional na industria textil /
Marcos Blauth. - Campina Grande, 1978.
113 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia de Sistemas) -
Universidade Federal da Paraiba,, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

1. Pesquisa Operacional Aplicada a Industria Textil 2.
Industria Textil - 3. Dissertacao I. Picard, Jean Claude,
Dr. II. Iida, Itiro, Dr. III. Universidade Federal da
Paraiba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 677.01(043)

APLICAÇÕES DE PESQUISA OPERACIONAL NA INDUSTRIA TÊXTIL

MARCOS BLAUTH

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SISTEMAS - OPÇÃO PESQUISA OPERACIONAL DO CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA, COMO REQUISITO PERCIAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE SISTEMAS.

Aprovado por :

Comissão Examinadora

Prof.Ph.D.Jean Claude Picard
Presidente

Prof.Ph.D.Itiro Iida
Co-Orientador

Prof.M.Sc.Eduardo Andrade Veloso
Examinador

COORDENAÇÃO SETORIAL DE PÓS-GRADUAÇÃO


PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

MARCOS BLAUTH

Título: "APLICAÇÕES DE PESQUISA OPERACIONAL NA INDÚSTRIA TEXTIL"

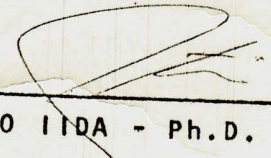
COMISSÃO EXAMINADORA

CONCEITO



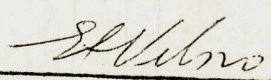
JEAN CLAUDE PICARD - Ph.D.
- Presidente -

A



ITIRO IIDA - Ph.D.

A



EDUARDO ANDRADE VELOSO - M.Sc.

A

Campina Grande, 11 de Julho de 1978.

À Maria Ignês

AGRADECIMENTOS

O autor agradece:

Ao seu orientador e amigo Prof. Jean Claude Picard pela efetiva orientação e segurança que soube transmitir durante todo o desenvolvimento do trabalho;

Ao seu co-orientador prof. Itiro Iida, pela colaboração e sugestões valiosas;

À Tecelagem Sperb SA, em especial ao Sr. Diretor Irineu Sperb, pelo apoio manifestado desde o início da pesquisa, nas formas de incentivo moral, acesso a todas as informações que se fizeram necessárias e financiamento, sem os quais este trabalho não teria sido realizado;

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em especial ao Diretor do Centro de Processamento de Dados, Prof. Manoel Luiz Leão, pela cessão dos recursos do Centro, em diversas ocasiões;

Ao Prof. Hans Herman Weber, pelo apoio e co-orientação informais;

À Srta. Josenilda Pereira da Silva, pela datilografia e paciência nas inúmeras correções que se fizeram necessárias;

Aos professores do DSC e demais colegas que, de alguma forma, prestaram sua amizade e colaboração;

Em especial, ao seu ex-colega de várias lutas e sempre amigo Otávio R. Souza, do CPD/UFRGS, cujo "apoio logístico à distância" é, por receio de omissão, inqualificável.

RESUMO

Nêste trabalho, desenvolvido na Tecelagem Sperb SA, identificamos as principais decisões, na área de PCP (Programação e Controle de Produção) cujos resultados pudessem ser melhorados pela utilização dos métodos quantitativos da Pesquisa Operacional.

São modeladas, resolvidas e analisadas 4 decisões, na função de Planejamento da Produção:

1. O problema da seleção da combinação ótima de produtos, com horizonte a médio-prazo, usando o método simplex;
2. O problema da sequenciação da produção no setor de Tecelagem, com horizonte a médio prazo, usando uma combinação heurística de vários métodos, de otimização;
3. O problema da composição do custo industrial, usando o método dos "Coeficientes de Dificuldade";
4. O problema da escalação diária da produção do setor de Tingimento, com horizonte a curto prazo, usando o algoritmo de Johnson.

ABSTRACT

In this study, done at Tecelagem Sperb SA, the main decisions related to PPC (Production Planning and Control) are identified, in order to improve results, by the use of Operations Research quantitative methods.

Four decisions are modeled, solved and analyzed:

1. The Product Mix Selection Problem, with medium time horizon, using the Simplex method;
2. The Production Sequencing Problem, at the Textile Department, also with medium time horizon, and using a heuristic combination of several optimization methods;
3. The Industrial Cost Composition Problem, using the method known as "Difficulty Coefficients";
4. The Daily Production Scheduling at the Colouring Department, with short time horizon, using Johnson's algorithm.

INDICE

	PÁGINA
AGRADECIMENTOS	
RESUMO	
ABSTRACT	
INDICE	
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I - IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS-PROBLEMA E FIXAÇÃO DE OBJETIVOS	5
1.1. Abordagem	5
1.2. Fluxo Interdepartamental de Informações	8
1.3. Descrição do Processo de Produção	12
1.4. Objetivos do Trabalho	18
CAPITULO II - SELEÇÃO DA COMBINAÇÃO ÓTIMA DE PRODUTOS	20
2.1. Introdução	20
2.2. A Função Objetiva	20
2.3. Restrições de Capacidade Produtiva do Setor Tecelagem	21
2.4. Restrições de Capacidade Produtiva do Setor Tingimento	23
2.5. Restrições de Mercado	24
2.6. O Modelo de Programação Linear	25

2.7. Análise de Sensibilidade a Variações no Vetor D	28
2.8. Análise de Sensibilidade a Variações nos Coeficientes da Função Objetiva	30
2.9. Seleção da Combinação Ótima de Produtos: Aplicação a Um Caso Ideal e Aplicação a Um Caso Real	32
2.9.1. Aplicação - Caso Ideal	33
2.9.2. Aplicação - Caso Real	41
CAPITULO III - CÁLCULO DOS CUSTOS UNITÁRIOS, PARA CONFERÊNCIA DOS PREÇOS DE VENDA	49
3.1. Introdução	49
3.2. Componentes dos Custos	49
3.3. Critérios de Rateio	51
3.3.1. Custo Unitário Indireto de Tecelagem	52
3.3.2. Custo Unitário Indireto de Tinturaria	52
3.3.3. Custo Unitário Direto de Distribuição	53
3.3.4. Custo Unitário Total	53
3.3.5. Contribuição Marginal	53
3.4. Uma Aplicação	53
CAPITULO IV - SEQUENCIAÇÃO DO PLANO MENSAL DE PRODUÇÃO E ALOCAÇÃO DOS GRUPOS DE TEARES	57
4.1. Descrição do Problema	57
4.2. Formulação do Problema	59
4.3. Metodologia de Solução	61
4.4. Uma Aplicação	66

CAPITULO V - PROGRAMAÇÃO DO TINGIMENTO	71
5.1. Processos de Tingimento	71
5.2. "Scheduling " (Escalação)	73
5.3. Alguns Resultados Práticos	75
5.3.1. Alocação dos Processos de Tingimento	75
5.3.2. "Scheduling" do Setor Tingimento - Uma Aplicação	78
CAPITULO VI - CONCLUSÃO	82
6.1. Sobre o Capítulo II	82
6.2. Sobre o Capítulo III	84
6.3. Sobre o Capítulo IV	84
6.4. Sobre o Capítulo V	85
ANEXO I - PROGRAMA ALGOL PARA PROGRAMAÇÃO LINEAR A ANALISE DE CUSTOS	86
ANEXO II - PROGRAMAÇÃO ALGOL PARA SEQUENCIAÇÃO DAS RESERVAS DE TECIDO NO SETOR TECELAGEM	101
BIBLIOGRAFIA	112

INDICE DE TABELAS

Nº	TÍTULO	PAG.
1	Teares existentes	16
2	Catálogo de tecidos	35
3	Análise de sensibilidade aos lucros unitários	38
4	Resultados do Programa Linear	43, 44, 45
5	Sensibilidade aos Termos Indepen dentes	47
6	Análise de Custos	55, 56
7	Reservas de Tecidos	67
8	Evolução da Penalidade	68
9	Sequenciação dos Pedidos de largura = 1.50 m	69
9.a	Sequenciação dos Pedidos de largura = 0.90 m	70
10	Tableau do Problema de Seleção de Processos	77
11	Conjunto de Job's (Rolos)	79

INDICE DE FIGURAS

Nº	TITULO	PAG.
1	Área de atuação da pesquisa	6
2	Fluxo de informações	9
3	Fluxograma do processo de produção	14
4	Composição de algoritmos para otimização da penalidade no problema da sequenciação	63
5	Algoritmo de Hodgson - Minimização do número de "Tardy Jobs" (N_T), modificado para o problema	64
6	Algoritmo para reduções sucessivas da penalidade total	65
7	Algoritmo de Johnson	74
8.a	Programação do Tingimento, com Ocupação Inicial	80
8.b	Programação do Tingimento, Sem Ocupação Inicial ..	81
9	Lay-out dos Cartões de Entrada para o Algoritmo de Programação Linear	88
10	Mapa das Procedures do Programa Linear	89
11	Lay-out dos Cartões de Entrada para o Heurístico de Sequenciação	102
12	Mapa das Procedures do Programa de Sequenciação	103

INTRODUÇÃO

A Tecelagem Sperb S/A situa-se na cidade de Novo Hamburgo (RS), é considerada de médio porte, operando no setor têxtil. Sua área de vendas abrange praticamente todo o território nacional, com predominância na Região Sul. O processo produtivo da indústria parte do "fio em cones", adquirido no mercado produtor, e termina com o tecido tingido, o qual é comercializado por encomenda. A empresa¹ fabrica basicamente três tipos de tecido - poliéster puro, poliéster/algodão e poliéster/viscose - em diversas padronagens (desenhos), em variadas proporções de poliéster com algodão ou viscose e em duas larguras - 0.90m para camisaria e 1.50m para calças.

(1) O termo "empresa" será empregado neste trabalho com dois sentidos: Um referindo-se a uma empresa convencional do ramo industrial, a qual mediante processamento de matérias - primas ou semi - industrializadas, adquiridas de um mercado fornecedor, obtém um produto final em um estágio maior de elaboração, auferindo seus lucros mediante comercialização de seu produto final, a preços compatíveis com a necessidade do mercado consumidor, e mediante a industrialização a baixos custos por algum processo racionalizado. O segundo sentido da palavra empresa será a própria indústria em estudo.

Neste trabalho, buscou-se identificar na empresa em estudo, algumas decisões ou áreas-problema, cujos critérios ou métodos pudessem ser aperfeiçoados pela aplicação de métodos quantitativos de Pesquisa Operacional, como programação matemática, teoria dos grafos e outros, resolvendo os modelos formulados e, pela análise dos resultados obtidos, buscando conclusões úteis.

Nos capítulos centrais, são abordados sucessivamente os problemas de programação da produção a médio prazo (1 a 3 meses) - o Problema da Seleção de Produtos (Product-Mix Selection Problem)-, análise de custos industriais - pela identificação de padrões representativos da utilização de recursos -, programação e sequenciação (scheduling) do setor de Tecelagem - a curto prazo (1 a 4 semanas) -, programação e sequenciação do setor de Tingimento - decisões diárias.

O Capítulo I trata da abordagem inicial utilizada para a identificação dos temas de pesquisa² e conclui com a fixação dos objetivos da pesquisa.

O Capítulo II se constitui na formulação de um modelo linear para a decisão de programação da produção a médio prazo, solução do modelo pelo método simplex³, para duas situações -ideal e real -, análise de pós-otimização do modelo, e apresenta algumas conclusões de ordem prática. O Anexo I consiste da documentação do programa de computador utilizado.

(2) Pesquisa aplicada.

(3) G. B. Dantzig.

No Capítulo III, utilizando resultados obtidos no capítulo anterior, desenvolveu-se uma metodologia para rateio dos custos indiretos e cálculo do custo total unitário, permitindo uma avaliação das margens percentuais de contribuição que cada artigo apresenta em relação ao seu próprio preço unitário de venda. O relatório final poderá orientar uma reavaliação de preços unitários, no sentido de obter uma maior compatibilidade entre custo e preço. No Anexo I, é descrito o modo de ativar e utilizar uma "procedure" opcional do programa, para a obtenção do relatório de análise de custos.

Capítulo IV trata das decisões de sequenciação e alocação de recursos de tecelagem (os teares) às Ordens de Fabricação, demonstrando que o critério de sequenciação usual não apresenta bons resultados em relação a uma função penalidade representativa dos custos financeiros devidos a atrasos na entrega do produto. Conclui com a demonstração a nível teórico (ideal), de que é possível, com a capacidade produtiva instalada, reduzir em até 30% os custos financeiros oriundos dos atrasos de entrega, sugerindo-se no Capítulo VI um trabalho adicional de pesquisas posteriores para operacionalizar o procedimento de otimização. O Anexo II consiste da documentação do programa de computador utilizado neste capítulo.

O Capítulo V trata exclusivamente de decisões operacionais, isto é, aquelas que ocorrem no dia-a-dia da empresa, sendo abordada a programação interna do Setor de Tingimento. São apresentados e resolvidos dois casos simples, que podem ser tratados manualmente em pouco tempo, para a seleção de processos de tingimento, e para alocação e sequenciamento das Requisições de Cores.

No Capítulo VI estão resumidas as principais conclusões aos assuntos abordados.

CAPÍTULO I

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS-PROBLEMA E FIXAÇÃO DE OBJETIVOS

1.1. A ABORDAGEM

Decisões em geral ocorrem nas empresas segundo três níveis de decisão, chamados nível estratégico - que trata de decisões com efeitos a longo prazo, normalmente de impacto na organização e com horizonte não só passado como também futuro -, nível gerencial ou tático - que trata de decisões a médio prazo, de médio impacto, interno normalmente - e nível operacional - que trata das decisões do "dia-a-dia" da empresa. Este tipo de caracterização das decisões está representado na dimensão vertical da Figura 1. Em outra dimensão (horizontal, na Figura 1), os objetivos específicos da empresa podem por sua vez ser classificados funcionalmente. Considerando-se que as decisões do nível estratégico são "mais importantes" que as do nível operacional, poder-se-ia argumentar que a pirâmide estivesse invertida na representação da Figura 1, uma vez que a uma "maior relevância" se deve

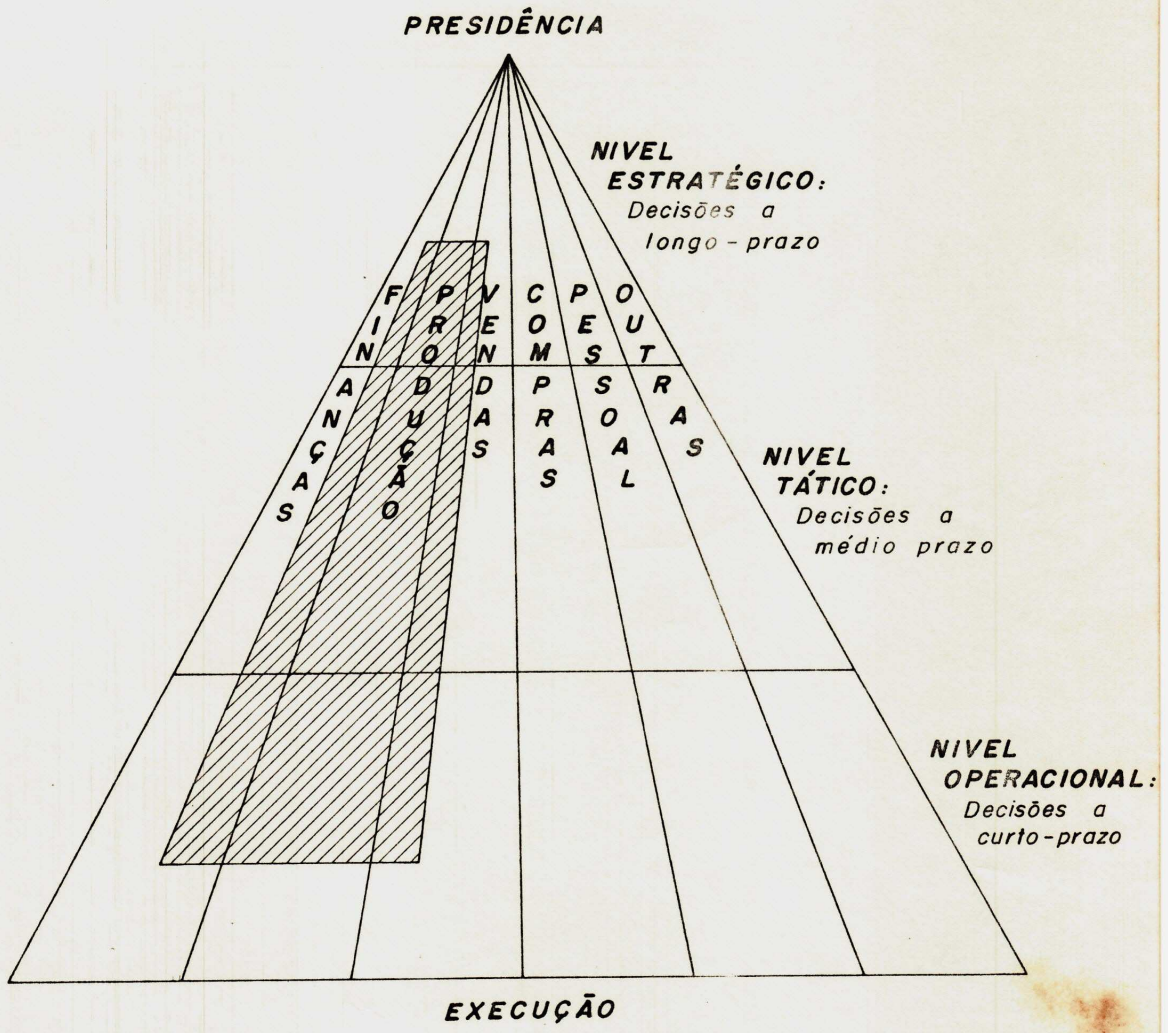


Figura 1 - ÁREA DE ATUAÇÃO DA PESQUISA

ria associar a base da pirâmide, e não o ápice. No entanto, a representação adotada não leva em conta o aspecto qualitativo (a importância das decisões) e sim os aspectos quantitativos, das mesmas como a frequência, a circulação, a quantidade de dados necessários, o número de pessoas envolvidas e outros.

A maioria das decisões envolve agentes de mais de uma função, são coletivas. Por exemplo, Compras decide "quando" e "quanto" comprar em conjunto com Programação e Controle da Produção (PCP); já "a quem" comprar é uma decisão de sua responsabilidade individual. Um ponto de partida para quem deseja identificar áreas - problema para racionalização, é, portanto o estudo das informações trocadas entre os vários grupos funcionais, e a avaliação dos métodos e critérios utilizados nas decisões tomadas sobre tais informações. É importante estabelecer prioridades, selecionando para pesquisa os problemas cujos resultados sejam mais sensíveis, e por outro lado respeitando o estágio da tecnologia atual, no sentido de pesquisar sobre problemas que efetivamente possam ser resolvidos, se não otimamente, ao menos heurísticamente.

1.2. FLUXO INTERDEPARTAMENTAL DE INFORMAÇÕES

Uma investigação importante para a correta identificação de áreas-problema em administração, é o levantamento das informações trocadas entre os diversos departamentos da empresa, em que tempos, e quais as finalidades de cada informação.

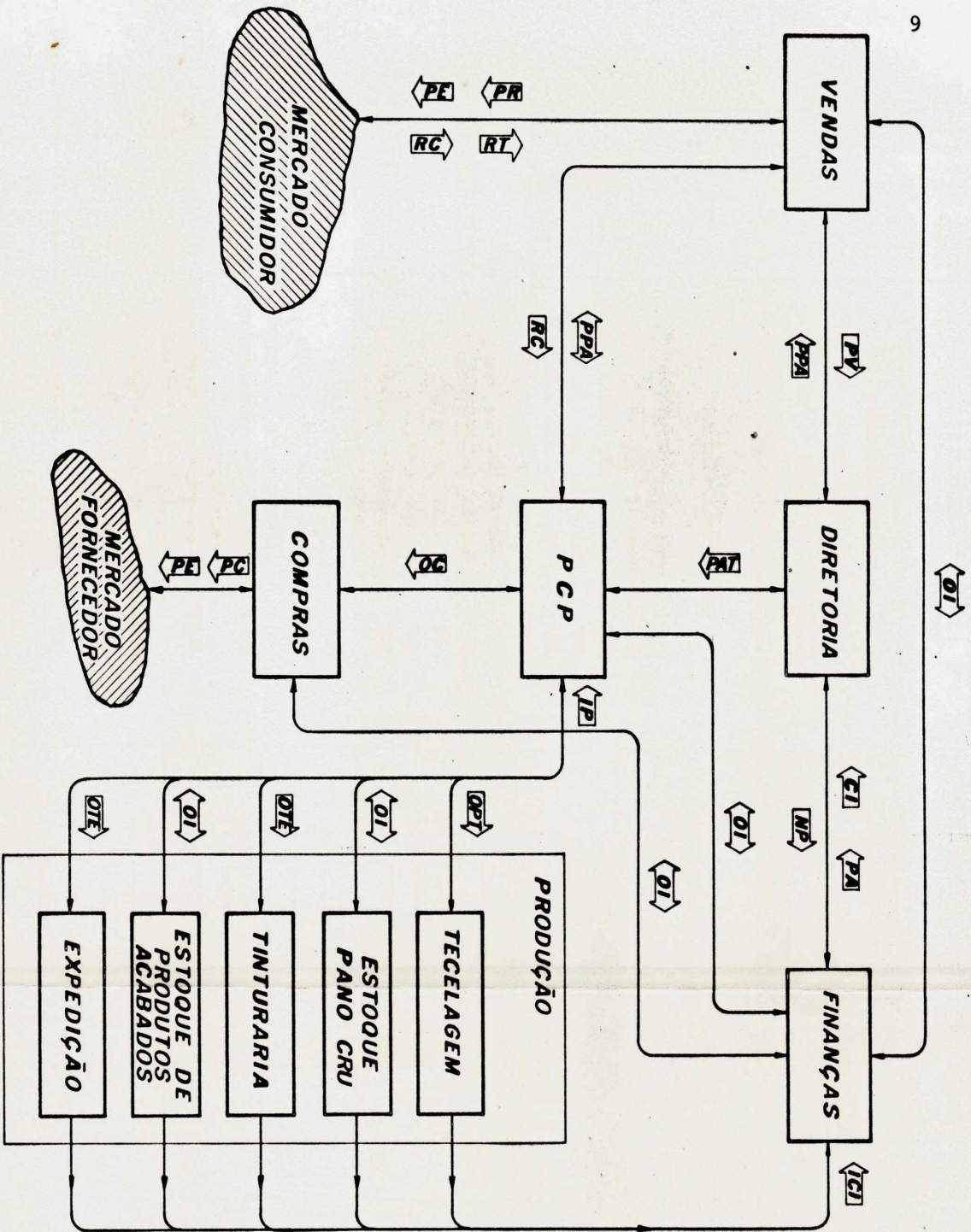
A programação da produção envolve, basicamente, 5 departamentos, a saber: Vendas, Programação e Controle da Produção, Finanças, Compras e Diretoria. O fluxo de informações entre esses departamentos e os mercados consumidor e fornecedor está representado por setas na Figura 2, e a natureza das mesmas encontra-se descrita a seguir. Observar que foram consideradas apenas aquelas informações relevantes ao estudo em questão, e ainda que a apresentação obedece aproximadamente à ordem cronológica.

VENDAS/MERCADO CONSUMIDOR

Da interação Departamento de Vendas através do corpo de representantes com o Mercado Consumidor, resultam os documentos Reserva de Tecido e Requisição de Cores.

A Reserva de Tecido destina-se a reservar o tipo de pano desejado pelo consumidor, sem especificação das cores. A reserva é feita, normalmente, de 30 a 90 dias antes da data prevista para a entrega do tecido, em quantidades que variam de 100 a 10.000 metros.

Ao aproximar-se a data de entrega do pedido, é feita a Requisição de Cores, ou seja especificadas as cores e tonalidades nas quais o pedido será fornecido. A requisição é feita, normalmente, de 4 a 30 dias antes da entrega prevista.



CONVENÇÕES:

- ↔ Linha de Comunicações.
- ⇄ Informação discutida / em conjunto ou trocada.
- ⇒ Informação dirigida.

ABREVIATURAS:

- PE - Pesquisa
- PR - Preços
- RC - Requisições de Cores
- RT - Reservas de Tecidos
- PV - Previsões de Vendas
- PPA - Plano de Produção / Aprovado
- CI - Custos Industriais
- PA - Preços Antigos
- NP - Novos Preços
- ICI - Informações sobre os Custos Industriais
- OI - Outras Informações
- OTE - Ordens de Produção Tinturaria e Expedição
- OPT - Ordens de Produção Tecelagem
- PAT - Prioridade de Atendimento
- PC - Pedido de Compra
- IP - Informações sobre a Produção
- OC - Ordens de Compra

Figura 2 - FLUXO DE INFORMAÇÕES (Parcial)

O Departamento de Vendas e a Diretoria da Empresa interagem no sentido de selecionar, de todas as reservas, quais serão atendidas e, a partir destas e de outras previsões de vendas (tecidos ainda não reservados), estabelecer o Plano Trimestral de Produção. Este plano, apesar de abranger 3 meses de produção, é atualizado mensalmente, à medida em que um conjunto significativo de reservas surge, e portanto devem ser incluídas no plano.

O produto final desta interação, o Plano de Produção, especifica os artigos (tecidos) e respectivas quantidades em que se rão produzidos.

Uma vez que os critérios adotados para discussão do plano são bastante intuitivos, identifica-se aí uma importante área-problema para aplicação da Pesquisa Operacional, ou seja, o conhecido "Problema de Seleção do Mix de Produtos" (Product-Mix Selection Problem). Além disso, a própria Diretoria da empresa concorda em que são necessárias ferramentas auxiliares mais eficientes para essa decisão. No Capítulo II abordamos este problema.

Uma observação importante é que há duas situações em que esta decisão se processa, a saber: mercado favorável e mercado desfavorável. Diz-se que o mercado é favorável quando a soma das reservas atinge ou excede a capacidade produtiva, situação em que a decisão se restringe a "selecionar pedidos para atendimento". Diz-se que o mercado é desfavorável quando a capacidade produtiva excede a soma das reservas, situação em que a decisão se baseia em "previsões de vendas futuras", e a fábrica portanto produzirá para estocagem.

Ainda, são estabelecidos ou atualizados os preços de vendas, em função de concorrências, custos, etc.

DIRETORIA/FINANÇAS

Diretoria e Departamento Financeiro interagem no sentido, de estabelecer e atualizar os preços de vendas, a partir dos da dos da contabilização de custos industriais e das condições do mercado (concorrência e poder aquisitivo, porém o mercado é inves tiguado pelo Departamento de Vendas) e dos planos de expansão ou recuperação financeira da empresa.

Investigada a metodologia de cálculo dos custos unitários dos produtos, verificou-se serem estes aproximados por critérios não convenientes ao tipo de produto produzido pela empresa. Apesar de o cálculo de custos ser uma área mais relacionada à Econo mia que à Pesquisa Operacional, fez-se necessário melhorar a me todologia de cálculo, para estipular os preços de venda propor cionalmente ao consumo de recursos por metro linear de cada teci do. O critério proposto de rateio encontra-se descrito no Capítulo III.

DIRETORIA/PCP/VENDAS

Após a aprovação do Plano Trimestral de Produção, este é comunicado e é discutida a sua viabilidade com o setor de Progra mação e Controle da Produção. De posse do plano, a PCP ordena as reservas por ordem ascendente de data-de-entrega, o que consti tui um algoritmo simplista de sequenciação, e aloca Ordens de Pro dução aos teares, agrupando-as por semelhança de artigo e largu ra de tear.

Considerando que a sequenciação por data-de-entrega desde considera penalidades associadas ao atraso e ao valor do pedido, também nesta área faz-se necessária a utilização de métodos mais eficientes de sequenciação, campo de ação excelente para a Pes quisa Operacional. O problema de sequenciação será abordado no Ca

ítulo IV.

PCP/VENDAS

A medida em que as Requisições de Cores são recebidas pelo Departamento de Vendas, são comunicadas à PCP para programação do tingimento dos tecidos. Como o computador mais próximo da empresa encontra-se a mais de 50km de distância, e as requisições são recebidas diariamente, a programação do tingimento deve ser feita de forma manual, e simplificada. Este problema é abordado no Capítulo V.

FINANÇAS/PCP/COMPRAS/MERCADO FORNECEDOR

Interagem no sentido de estabelecer e controlar a política de aquisição e estocagem de matérias-primas da empresa. Esta área, relativa ao fluxo de materiais e informações relativas a compras, não foi abordada neste trabalho, por já terem sido identificados problemas em número e complexidade mais que suficientes para uma tese de mestrado no fluxo DIRETORIA/PCP/VENDAS, a qual delimita "horizontalmente" a abrangência do estudo ("verticalmente", abrangendo os níveis estratégico e tático, conforme representado na Figura 1).

1.3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

O processo inicia com o desenvolvimento dos padrões da temporada, sendo executada uma produção piloto para testes, estimativas de custos e tempos, e amostragem dos padrões (500 metros de cada padrão). A "temporada" em si varia de 3 a 12 meses.

São distribuídas amostras aos representantes e, após algumas semanas, como já dissemos, é feito (atualizado), o Plano de Produção para os próximos 3 meses.

A Figura 3 apresenta em detalhes o fluxograma do processo produtivo.

Segue-se uma breve descrição de cada etapa do processo de produção, identificando-se quais etapas constituem restrições da capacidade produtiva da empresa.

URDIMENTO

Consiste em descarregar fios dos CONES nos ROLOS próprios para os teares. Cada CONE comporta em torno de 40.000 metros de fio (CONES de 1,5kg), tendo a URDIDEIRA capacidade para 600 CONES. O ROLO para o TEAR conterà em torno de 6.000 fios paralelos, com comprimento de 1.000 a 3.000 metros cada fio, gerando portanto 1.000 a 3.000 metros de tecido.

O urdimento tem capacidade de produção muito superior à produção máxima possível, logo, não constitui restrição à capacidade produtiva da fábrica.

Os tempos de urdimento são em torno de 3 horas, para "bancar a gaiola" (colocação dos CONES na máquina), 4 horas para o "urdimento propriamente dito" (enrolagem), 1/2 hora para a "descarga no ROLO". A fábrica dispõe de 4 máquinas.

MESMO TECIDO DO TEAR?

Se o ROLO em urdimento se destina a uma continuação de um tecido em produção num tear, não é necessária a MONTAGEM, e o ROLO vai para o TORCIMENTO.

REMETEÇÃO: Consiste em enfiar os fios nas lamelas do QUADRO e fazer o "passamento do pente".

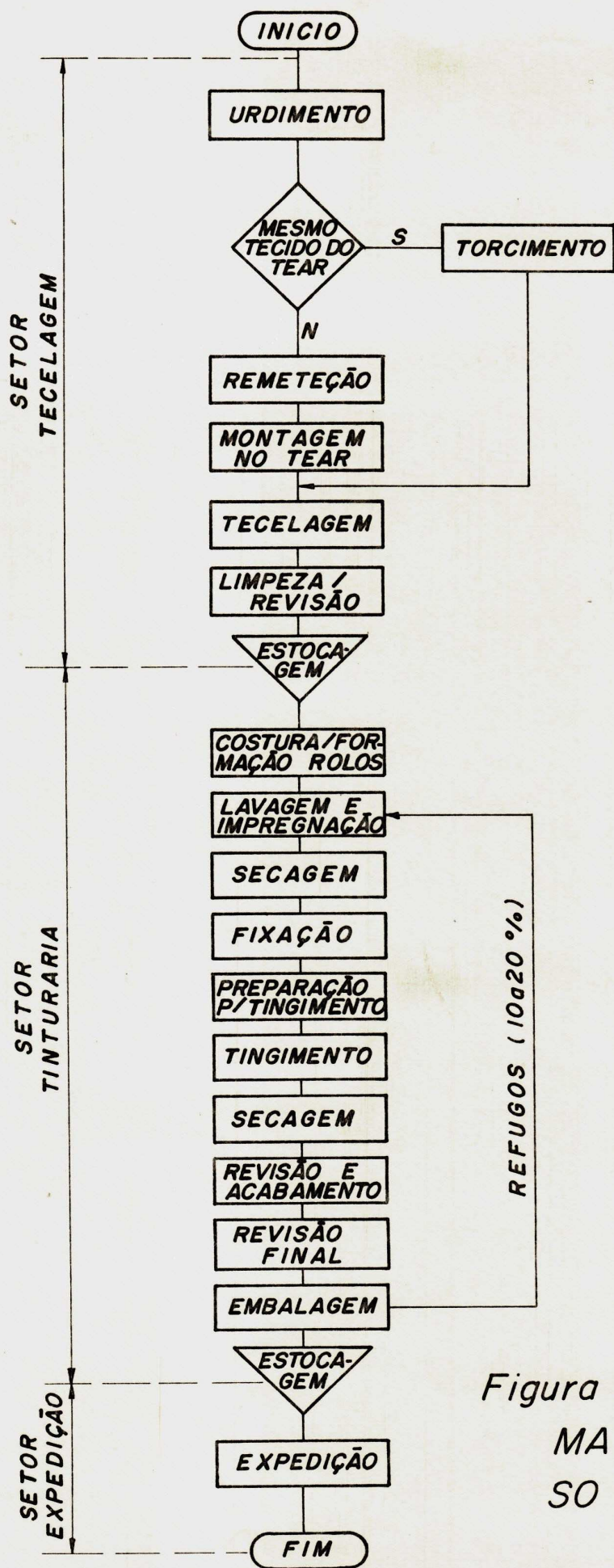


Figura 3 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

Não constitui restrição, mas toma em torno de 10 horas de trabalho.

MONTAGEM NO TEAR: Caso o tecido não seja o mesmo que o recém-produzido no tear, é necessário a MONTAGEM DO QUADRO. Não constitui restrição, mas para o tear por 4 a 6 horas. (set-up).

TORCIMENTO: Quando o ROLO se destina à continuação de um tecido em produção no tear, basta "torcer" os fios nas extremidades dos fios anteriores, mantendo o mesmo QUADRO já montado na máquina. Essa operação requer apenas 15 minutos de tear parado, contra as 6 horas da "montagem". Não constitui restrição, portanto.

TECELAGEM: É a produção do tecido cru, nos teares. É feita cruzando o fio da TRAMA (montado no tear) com o ROLO do URDUME. Este setor, atualmente, não constitui restrição. Porém, com os novos equipamentos a serem adquiridos na tinturaria, poderá esta deixar de se constituir em restrição, passando o estrangulamento para a tecelagem. O setor dispõe de 114 teares, conforme Tabela 1.

LIMPEZA/REVISÃO: Revisão da qualidade da tecelagem, e limpeza do tecido. Os defeitos (% tec. segunda) são cortados.

ESTOCAGEM: O tecido cru é estocado para posterior tingimento. É importante lembrar que o mesmo tecido cru pode dar origem a várias cores diferentes.

TEARES EXISTENTES:

VELOC. (RPM)	(cm) LARGURA	NOVO/ VELHO	QTDE
193/197	220	V	31
198/202	220	V	36
203/206	220	V	12
	190	N	22
207/210	220	V	1
	190	N	6
220/230	190	N	6

114

TEARES LARGOS: 80 ; RPMEDIA \cong 200 RPMTEARES ESTREITOS:34 ; RPMEDIA \cong 210 RPM

TABELA 1 - TEARES EXISTENTES

COSTURA/FORMAÇÃO DE ROLOS: São costurados ROLOS de 300 metros , para a lavagem. O tamanho dos ROLOS aqui é limitado pela capacidade do carro para a lavadeira. Não constitui restrição.

LAVAGEM E IMPREGNAÇÃO: Consiste na lavagem do tecido e impregnação pelos processos "Forrlase" e "Caustificação". Esta etapa também não constitui restrição.

SECAGEM: Não constitui restrição.

FIXAÇÃO: Não constitui restrição.

As velocidades de secagem e fixação são de 30 m/min para poliéster texturizado, e 14 m/min para os poliéster com algodão (CO) ou viscose (CV). A programação do setor é bastante simples, realizada internamente.

PREPARAÇÃO PARA TINGIMENTO: Não constitui restrição. Consiste em preparar ROLOS de 380 a 400 metros , para o tingimento. As velocidades do setor são de 30 m/min, com tempos de preparação do equipamento em torno de 7 horas.

TINGIMENTO: É onde normalmente ocorre o ESTRANGULAMENTO da linha de produção. O tingimento pode ser feito por 4 processos diferentes. Um destes é exclusivo para o poliéster texturizado nos equipamentos HT (high temperatu

re) e JIGGER. Dos outros três processos, dois usam também estes equipamentos, e o terceiro é chamado de TERMOSOL. Este apresenta altíssima velocidade, mas tem um tempo proibitivo de preparação. Considerando que a capacidade dos JIGGER supere em muito a dos HT, a restrição pode ser expressa apenas em termos de capacidade dos HT'S. Os 4 processos de tingimento serão descritos em detalhes no Capítulo V, que trata da programação desta etapa.

REVISÃO FINAL: Consiste em detectar defeitos de tinturaria e remeter os tecidos defeituosos para reprocessamento. A taxa de reprocessamento é de 10% a 26%.

EMBALAGEM: Corte nos comprimentos solicitados pelos clientes, e acondicionamento em ROLOS com embalagem apropriada.

ESTOCAGEM: O tecido aguarda no estoque até completar-se o pedido do cliente. A seguir é expedido.

1.4. OBJETIVOS DO TRABALHO

Definida a área de atuação do estudo e, no domínio desta, identificados os problemas mais importantes, é possível estabelecer os objetivos do trabalho, bem como os meios através dos quais tais objetivos são atingidos:

OBJETIVO GERAL

Aumentar a lucratividade da empresa, através do aperfeiçoamento dos métodos de planejamento da produção.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Aperfeiçoar a metodologia de planejamento da produção a médio prazo, no que se refere à seleção de produtos;
- b) Aperfeiçoar a metodologia de programação da produção a curto prazo, no que se refere aos critérios de sequenciação dos produtos;
- c) Aperfeiçoar a metodologia de cálculo dos preços de venda, a partir de indicações mais precisas sobre os custos de produção;
- d) Fornecer subsídios para racionalizar a política de expansão dos recursos de produção, a partir de análises de sensibilidade dos lucros em relação aos recursos.

MEIOS

Para a consecução dos objetivos "a" a "d" acima, foi desenvolvido um conjunto de programas de computador, em linguagem de alto nível (ALGOL-60), implementáveis portanto em qualquer computador de médio a grande porte, para a aplicação das técnicas de Pesquisa Operacional adequadas aos problemas, quais sejam, programação linear, cálculo de custos e sequenciação. Para alguns casos, preferiu-se a solução manual, seja pela necessidade de algo rítmico simples para decisões diárias (por exemplo, no Capítulo V), seja pelo pequeno porte de alguns modelos (Capítulo II, Hem 2.7.1).

CAPÍTULO II

SELEÇÃO DA COMBINAÇÃO ÓTIMA DE PRODUTOS

2.1 INTRODUÇÃO

O problema da seleção da combinação ótima de produtos caracteriza-se como de programação linear, uma vez que tanto a função-objetiva como as restrições, são lineares.

Os itens 2.1 a 2.6 descrevem a formulação matemática do modelo linear. Em 2.7 e 2.8 descrevem-se as análises de variações (sensibilidade) da solução ótima em relação aos termos independentes (recursos e mercado) e aos lucros unitários, respectivamente. Em 2.9 são apresentadas duas aplicações práticas, uma em condições ideais e a segunda em condições reais.

2.2 A FUNÇÃO OBJETIVA

A função a ser maximizada é a margem total de contribuição, ou seja, a diferença entre os valores de faturamento e de consumo de matéria-prima, correspondentes a um determinado programa. Os

consumos de recursos industriais unitários compõem os coeficientes tecnológicos das restrições de capacidade produtiva. Quanto aos custos fixos, são omitidos na formulação da função por serem, como o próprio nome o diz: "fixos", ou seja, independentes das quantidades produzidas.

A função objetiva, então, é:

$$\max z = \sum_{j \in J} c_j x_j$$

Onde:

c_j [CR\$/m] = Lucro-bruto unitário do tecido j , a diferença entre o preço unitário de venda e o custo unitário direto do tecido j .

x_j [m] = Variável de decisão, a quantidade a ser produzida do tecido j .

$J = \{1, 2, \dots, n\}$ = Conjunto dos índices dos n tecidos da temporada.

2.3. RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE PRODUTIVA DO SETOR TECELAGEM

Normalmente, a etapa de tingimento "domina" todas as outras, logo, a capacidade produtiva da fábrica poderia ser expressa por apenas uma equação de restrição. No entanto, a dominância da etapa de tingimento sobre a etapa de tecelagem é muito fraca, isto é sob certas condições (por exemplo, produção de uma quantidade alta de tecidos pré-tingidos, os quais dispensam a etapa de tingimento), o estrangulamento pode passar para a tecelagem. Assim, a capacidade da tecelagem deve constituir uma restrição do modelo.

Os tecidos estreitos (0,90m de largura) podem ser produzidos com eficiência dupla nos teares largos (2,20m de largura) e simples nos teares estreitos (1,90m de largura). Quanto aos tecidos

dos largos, podem ser produzidos tanto nos teares largos como nos estreitos, com a mesma eficiência. Não é preciso considerar a possibilidade dos tecidos estreitos serem produzidos nos teares estreitos, porque esta alternativa é altamente ineficiente, se comparada a qualquer das demais sendo portanto, desconsiderada no modelo. Quanto aos tecidos largos, permite-se que sejam processados em ambos os tipos de teares, largos e estreitos.

Assim, o setor de tecelagem impõe duas equações de restrição, quais sejam:

$$\text{Teares largos e estreitos: } \sum_{j \in J} a_{1j} x_j \leq d_1$$

$$\text{Teares largos, tecidos estreitos: } \sum_{j \in J'} a_{2j} x_j \leq d_2$$

Onde:

J = Conjunto dos índices dos tecidos largos e estreitos.

$J' = \{ j \in J \mid \ell_j = 0,90 \}$ = Conjunto dos tecidos estreitos ($J' \subseteq J$)

ℓ_j [m] = Largura do tecido j .

$a_{2j} = a_{1j}$ [Batidas/m] = Coeficiente tecnológico, a quantidade de batidas (fios transversais) por metro linear do tecido j .

d_1 [Rotações] = Total de "batidas" (rotações) de tear disponíveis no período, teares largos e estreitos.

d_2 [Rotações] = Total de batidas dos teares largos no período ($d_2 < d_1$).

Os coeficientes tecnológicos a_{1j} e a_{2j} são dados por:

$$a_{1j} = a_{2j} = \frac{100 \times \text{BCM}_j \times \text{KL}_j}{(1 - \text{SEG}_j) \text{EFI}_j}$$

Onde:

BCM_j [Batidas/cm] = Número de batidas (fios transversais) por centímetro linear de tecido j acabado (após o encolhimento).

EFI_j [%] = Eficiência porcentual do tecido j nos teares.

$$KL_j = \begin{cases} 0,5 & \text{se } j \in J' \\ 1 & \text{se } j \in (J - J') \end{cases}$$

SEG_j [%] = Porcentagem de tecido j de segunda qualidade.

Observar que, caso a eficiência e/ou a porcentagem de segunda de cada tecido sejam diferentes para cada tear, o número de variáveis principais (n) passará a ($n \times \#$ teares), que é altamente indesejável, sob o ponto de vista computacional. No entanto, verificou-se que esses parâmetros variam pouco em relação aos teares considerados, o que permitiu usar como coeficientes tecnológicos, a média dos coeficientes de cada tecido em todos os teares.

2.4 RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE PRODUTIVA DO SETOR DE TINGIMENTO

A capacidade de produção do tingimento é limitada pelo peso máximo admissível em cada carga de tingimento, sendo este parâmetro uma característica de cada equipamento. Quanto às velocidades de processamento, são diferentes para cada tipo de tecido (poliester, viscosa, algodão).

O setor de tingimento impõe uma restrição:

$$\sum_{j \in J} a_{3j} x_j \leq d_3$$

Onde:

$J = J\bar{a}$ definido.

$a_{3j} \left[\frac{\text{kg} \times \text{dia}}{\text{Carga} \times \text{m}} \right] =$ Coeficiente tecnológico do tecido j no setor de tingimento.

$b_3 \left[\frac{\text{kg x dias}}{\text{carga}} \right] =$ Capacidade produtiva do setor, expressa através do produto do Nº dias do período pelo somatório das capacidades de todos os equipamentos, expressando-se tais capacidades em kg/carga. Ou, equivalentemente, a quantidade total de quilogramas por carga que pode ser processada no período.

Os coeficientes tecnológicos a_{3j} são dados por:

$$a_{3j} = \frac{\frac{\text{GML}_j}{1000} (1 - \text{RET}_j)}{\text{VEL}_j}$$

Onde:

GML_j [gr/m] = Peso por metro linear do tecido j .

RET_j [%] = Porcentagem de retorno do tecido j , por defeitos de tingimento.

VEL_j [Cargas/Dias] = Velocidade de tingimento do tecido j , expressa em número de cargas possíveis por dia.

Também neste caso, se a porcentagem de retorno e/ou a velocidade de tingimento de cada tecido fossem diferentes para cada máquina, teríamos o número de variáveis principais multiplicado pela quantidade de equipamentos, o que foi evitado utilizando médias para cada tecido, e mínimos.

2.5. RESTRIÇÕES DE MERCADO

As restrições de mercado são formadas pelos limites máximo de produção de cada tecido.

Os limites máximos correspondem, para cada tecido, à soma dos pedidos de clientes com as demais previsões de venda para o

mesmo período.

Quanto aos limites mínimos, correspondem aos tecidos que a empresa deseja fabricar em qualquer hipótese, independente de pertencerem ou não à base ótima. Este tipo de limite surge, por exemplo, quando alguns clientes são de importância vital para a empresa, ou quando determinados tecidos não podem deixar de ser fabricados, em quantidades mínimas pré-estabelecidas, a fim de garantir a participação no mercado.

Tem-se, portanto, equações do tipo:

$$l_j^1 \leq x_j \leq l_j^2$$

Onde:

$x_j [m]$ = Variável de decisão, já definida.

$l_j^1 [m]$ $\begin{cases} = 0 & \text{Se o tecido } j \text{ não tem limite inferior} \\ \neq 0 & \text{Se existe uma quantidade mínima a ser produzida do tecido } j. \end{cases}$

$l_j^2 [m]$ = Limite superior, a máxima quantidade de tecido j , admissível pelo mercado (reservas existentes + previsões de vendas).

2.6. O MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Desconsiderando os limites inferiores de mercado (l_j^1), pois os mesmos serão manipulados automaticamente pelo programa de computador pela técnica de "mudança de variáveis", o modelo se resume ao problema (P) abaixo.

Sejam:

$J = \{1, 2, \dots, n\}$ = Conjunto dos índices dos tecidos.

J'' = Conjunto dos índices das p variáveis com limite superior ;
 $(J'' \subseteq J; |J''| = p)$;

J' = Conjunto dos índices dos tecidos estreitos ($J' \subseteq J$);

O problema (P) então é:

$$(P) \begin{cases} \max z = \sum_{j \in J} c_j x_j \\ \sum_{j \in J} a_{1j} x_j \leq d_1 \\ \sum_{j \in J'} a_{2j} x_j \leq d_2 \\ \sum_{j \in J} a_{3j} x_j \leq d_3 \\ x_j \leq l_j^2 \quad \forall j \in J'' \\ x_j \geq 0 \quad \forall j \in J \end{cases}$$

Reduzindo à forma padrão, o modelo terá $(p+3)$ equações, e $m = n+p+3$ variáveis. Matricialmente obtemos o problema (P_1) abaixo:

$$(P_1) \begin{cases} \max z = CX \\ AX = D \\ X \geq 0 \end{cases}$$

Onde:

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ = Vetor linha dos lucros unitários sendo os n primeiros correspondentes às variáveis principais, e os $p+3$ restantes nulos.

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ = Vetor coluna das variáveis de decisão, sendo x_1, x_2, \dots, x_n variáveis principais, e x_{n+1}, \dots, x_m variáveis de folga correspondentes às restrições, todas do tipo "menor ou igual".

$A = \{a_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, p+3; j = 1, 2, \dots, m\}$ = Matriz dos

coeficientes das variáveis, nas equações de restrição do modelo.

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_{p+3}\}$ = Vetor coluna dos termos constantes, nos quais d_4, d_5, \dots, d_{p+3} correspondem aos p limites superiores de mercado ℓ_j^2 em (P).

No caso em estudo, o sistema $AX = D$ não será redundante, e terá mais do que uma solução. Chamaremos B uma base deste sistema, isto é, todo conjunto de $(p+3)$ vetores coluna linearmente independentes $a_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{(p+3)j})$. As variáveis básicas são aquelas associadas aos vetores coluna a_j , componentes de B . As variáveis restantes são chamadas não-básicas. Os vetores coluna associados às variáveis não básicas formam o conjunto R . Por variáveis principais entendemos aquelas associadas aos tecidos, diferenciados por constituição, largura de fio e padrão de desenho. Respetivamente, X^B e X^R designarão os sub-vetores das variáveis básicas e não básicas.

$BX^B = D$ é um sistema Crameriano, o qual possui uma solução única $X^B = B^{-1}D$, a solução básica associada à base B (por definição, na solução básica $X^R = 0$). Um programa básico, constitui uma solução básica viável. Um programa básico que maximiza a função objetiva é uma solução básica viável ótima do sistema $AX = D$. Por brevidade, usaremos as notações X, B, X^B , para uma solução básica ótima.

No restante do Capítulo, a não ser quando mencionado explicitamente, usaremos a mesma notação da referência [9]. O teorema fundamental da programação linear [3] estabelece que:

- "Dado um problema de programação linear, na forma padrão:

- a) Se existe para ele ao menos um programa finito, existirá ao menos um programa básico; e,

b) Se para ele existe ao menos um programa ótimo finito¹, existirá ao menos um programa ótimo básico".

O método simplex, originalmente desenvolvido por G. B. Dantzig em 1949, constitui um algoritmo eficiente de pesquisa da base ótima entre as $C_{(n+p+3)}^{(p+3)}$ bases diferentes possíveis para o sistema de equações de (P_1) . Uma variante mais adequada em termos de eficiência computacional é o Simplex Revisado, a qual foi utilizada no programa do Anexo I.

2.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE A VARIAÇÕES NO VETOR D

Para a empresa, é particularmente importante a disponibilidade e uso de critérios racionais para decisões no sentido de "onde" e "em quanto" aumentar ou reduzir a capacidade produtiva, bem como os limites de mercado. A análise de sensibilidade a variações no vetor D constitui, em tais decisões, uma ferramenta valiosa e imprescindível.

Analisando o efeito que modificações positivas (negativas), introduzidas sucessivamente em cada d_i trazem à função objetiva, tem-se as seguintes interpretações (em relação a uma solução ótima):

1ª Equação: "Em quanto será acrescido (decrecido) o lucro bruto total (função objetiva), se for acrescentada (Subtraída) a capacidade produtiva do setor de tecelagem (d_1), uma batida de tear no período (por exemplo, se um novo tear for adquirido?)".

(1) Possivelmente mais de 1.

2ª Equação: "As mesmas perguntas, especificamente para os teares largos (d_2)".

3ª Equação: "Em quanto será acrescido (decrecido) o lucro bruto total (função objetiva), se for acrescentada (Subtraída), a capacidade produtiva do setor de tingimento (d_3), um quilograma de capacidade adicional no período (por exemplo, se um novo equipamento for adquirido?)".

4ª, 5ª, e "Em quanto será acrescido (decrecido) o lucro bruto demais total, se sucessivamente cada um dos limites de mercado (d_4, d_5, \dots, d_{p+3}) aumentar (diminuir) em um metro para o período?".

A resposta a essas perguntas é obtida analisando os efeitos da substituição de D , o vetor original dos termos constantes, por $D+\gamma$, onde $\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{p+3})$ é um vetor fixo, cujos componentes assumem sucessivamente valores $\gamma_i = 0 \forall i \neq \bar{i}$ e $\gamma_i \neq 0$ para $i = \bar{i}$, sendo \bar{i} o índice da restrição cujo termo constante sofrerá a modificação $\gamma_{\bar{i}}$. Em cada caso, a nova solução básica associada à base ótima é $X'^B = B^{-1} (D + \gamma) = X^B + B^{-1}\gamma$. Se todos os $(p+3)$ componentes de X'^B permanecerem não - negativos, X'^B é a nova solução ótima; se pelo menos um dos componentes de X'^B se tornar negativo, a solução básica se torna inviável. Fazendo $\gamma_{\bar{i}}$ variar, para cada \bar{i} podem-se determinar valores críticos de $\gamma_{\bar{i}}$, $\gamma_{\bar{i}}^{CRIT}$, tal que, pelo menos um dos componentes de X'^B se anule, e nenhum dos demais se torne negativo. Os $\gamma_{\bar{i}}^{CRIT}$ serão, então, os limites máximos de variação (positiva ou negativa) permitida ao \bar{i} - ésimo componente do vetor D , de modo a manter a viabilidade da solução ótima.

Se a solução básica permanecer viável, o novo valor da função objetiva será:

$$z' = C^B X'^B = C^B B^{-1} (D+\gamma) = z + C^B B^{-1}\gamma$$

2.8. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE A VARIAÇÕES NOS COEFICIENTES DA FUNÇÃO OBJETIVA

Como visto em 2.1., os coeficientes da função objetiva re apresentam os "lucros unitários" de cada tecido. Normalmente, por ocasião do lançamento de novas linhas de produtos para a próxima temporada, é necessário avaliar os efeitos trazidos à função objetiva por modificações introduzidas nos preços de venda e, portanto, nos lucros unitários de cada tecido. Nestas situações, as seguintes questões são formuladas²:

- "Que efeito traz ao lucro bruto total (função objetiva) uma modificação unitária positiva (negativa) no preço de venda ou no custo de matéria-prima e, portanto, no lucro bruto unitário (c_j) de cada um dos tecidos, sucessivamente?"

- "Quais são os limites máximos de variação permitidos, sucessivamente, a cada um dos lucros unitários, além dos quais a solução ótima final deixa de ser ótima?"

Algumas respostas parciais podem ser obtidas de imediato

Deseja-se estudar os efeitos da substituição de C , o vetor original dos lucros unitários, por $C + \delta$, onde $\delta = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n)$ é um vetor fixo, cujos componentes assumem sucessivamente, para cada $\bar{j} = 1, 2, \dots, n$, valores $\delta_j = 0 \forall j \neq \bar{j}$, e $\delta_j \neq 0$ para $j = \bar{j}$, sendo \bar{j} o índice da variável cujo lucro unitário, $c_{\bar{j}}$ sofrerá a modificação $\delta_{\bar{j}}$.

Para modificações nos lucros unitários, a solução básica não se altera, pois $X^B = B^{-1}D$ não depende do vetor C . No entan

(2) Também neste caso, os resultados serão obtidos em relação à solução ótima.

to, a base B pode deixar de ser ótima se, após a modificação, algum dos $z_j - c_j$ ($j = 1, 2, \dots, n$) se tornar negativo. Tem-se então dois casos distintos:

- a. Se $x_{\bar{j}}$ não é básica, uma modificação negativa $\delta_{\bar{j}}$ em $c_{\bar{j}}$ não modificará em nada a solução ótima;

No entanto, uma modificação positiva $\delta_{\bar{j}}$ em $c_{\bar{j}}$ poderá fazer com que $x_{\bar{j}}$ entre na base, modificando assim a solução básica ótima anteriormente obtida. Isso acontece se $c_{\bar{j}}^1 = (C_{\bar{j}} + \delta_{\bar{j}}) > z_{\bar{j}}$, ou seja, quando $(z_{\bar{j}} - c_{\bar{j}}^1)$ tornar-se menor que zero. Se a solução básica permanecer ótima, modificações positivas ou negativas não modificarão o valor da função objetiva;

- b. Se $x_{\bar{j}}$ é básica, uma modificação positiva em $c_{\bar{j}}$ de valor $\delta_{\bar{j}}$ aumentará o valor da função objetiva associado à base ótima de:

$$\Delta z = z' - z = \delta_{\bar{j}} x_{\bar{j}}$$

$$\text{Onde: } z = C^B X^B$$

$$\text{e: } z' = (C + \delta)^B X^B = z + \delta^B X^B = z + \delta_{\bar{j}} x_{\bar{j}}$$

Além disso, o acréscimo $\delta_{\bar{j}}$ em $c_{\bar{j}}$ poderá expulsar da base ótima uma variável básica, o que acontecerá se, para alguma das demais variáveis básicas, $z_j - c_j | j \neq \bar{j}$ for negativo.

Por outro lado, modificações negativas nos coeficientes das variáveis básicas poderão fazer com que $x_{\bar{j}}$ deixe a base, para a entrada da variável $x_j | z_j - c_j < 0, j \neq \bar{j}$. Ainda, a função objetiva será decrescida de $\delta_{\bar{j}} x_{\bar{j}}$.

Fazendo variar, sucessivamente para $\bar{j} = 1, 2, \dots, n$, pode-se determinar limites $\delta_{\bar{j}}^{\text{crit}}$, os quais representam "a máxima variação permitida do lucro unitário do \bar{j} -ésimo tecido, de modo a manter a otimalidade da solução básica anteriormente ob

tida". Sucessivamente, os $\delta_{\bar{j}}^{\text{CRIT}}$ valem:

$$\delta_{\bar{j}}^{\text{CRIT}} \Rightarrow \min_{v_j \neq \bar{j}} \delta_j |z_j' - c_j < 0$$

Evidentemente, as variáveis básicas poderão ter dois limites $\delta_{\bar{j}}^{\text{CRIT}}$, um positivo, e um negativo, porém as variáveis não básicas terão somente um limite $\delta_{\bar{j}}^{\text{CRIT}}$ positivo, pois o negativo carece de significado, uma vez que o lucro unitário, em situações reais, só pode decrescer até zero.

Uma interpretação econômica interessante é que $\delta_{\bar{j}}/c_{\bar{j}}$ representam modificações percentuais aos $c_{\bar{j}}$. Assim, os $\delta_{\bar{j}}^{\text{CRIT}}/c_{\bar{j}}$ negativos, das variáveis básicas, representam a "porcentagem de que o lucro unitário do tecido \bar{j} pode ser decrescido, de forma a manter $x_{\bar{j}}$ na base". Os $\delta_{\bar{j}}^{\text{CRIT}}/c_{\bar{j}}$ positivos, das variáveis não básicas, representam a "porcentagem de que o lucro unitário do tecido \bar{j} deve ser acrescido, de modo a que $x_{\bar{j}}$ entre na base."

2.9. SELEÇÃO DA COMBINAÇÃO ÓTIMA DE PRODUTOS: APLICAÇÃO A UM CASO IDEAL E APLICAÇÃO A UM CASO REAL

Em janeiro de 1978, a Tecelagem Sperb S.A. havia acabado o catálogo de amostras para a próxima temporada, e havia selecionado alguns artigos do catálogo antigo para permanecerem no novo mostruário. A direção se empenhava no momento em obter respostas às seguintes questões:

- 1 - Dadas, para o novo catálogo, as estimativas de preços de venda e limites máximos de mercado, compatíveis entre si, fornecidas pelo Departamento de Vendas; dados limites mínimos fixados pela Diretoria, para garantir a participação de determinados artigos no mercado; e respeitada a capacidade produtiva da fábrica: em que quantidade cada artigo do catálogo

go deve ser fabricado, de modo a garantir à empresa o maior lucro possível no período que se inicia?

- 2 - Dadas as previsões de despesa fixa e variável feitas pelo Setor de Contabilidade e Custos, qual é o valor do lucro realizável?
- 3 - Se houver uma reserva monetária disponível para aumento da capacidade produtiva, em que setores produtivos deve ser aplicada? Em que valores?
- 4 - Se as modificações desejadas pelo Departamento de Vendas forem introduzidas nos lucros unitários, quais são as consequências?.

2.9.1. Aplicação - Caso Ideal

a) Formulação

Formulando o modelo de programação linear (P_1) sem considerar as restrições de mercado, este terá $n + 3$ variáveis, das quais n principais e 3 de folgas, e apenas 3 equações de restrição:

$$\max z = \sum_{j \in J} c_j x_j \quad \begin{array}{l} J = \{1, 2, \dots, n\} \\ J' \subset J \end{array}$$

$$\sum_{j \in J} a_{1j} x_j + x_{n+1} = d_1 \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J'} a_{2j} x_j + x_{n+2} = d_2 \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} a_{3j} x_j + x_{n+3} = d_3 \quad (3)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j$$

A solução deste modelo trará os seguintes resultados:

- O valor da função objetiva associado à base ótima indicará um "teto" máximo de lucro bruto que a empresa poderia obter,

em condições ideais³;

- Modificando sucessivamente d_1 , d_2 e d_3 de quantidades $\delta_{\bar{i}}$, $\bar{i} = 1, 2, 3$, e em cada caso, avaliando a variação do valor da função objetiva decorrente da modificação $\delta_{\bar{i}}$, serão obtidos resultados úteis ao estudo das alternativas de investimento para aumento da capacidade produtiva:

- O valor ótimo das variáveis de folga (x_{n+1} , x_{n+2} e x_{n+3}) indicará os recursos esgotados e quais apresentam capacidade ociosa, na solução ótima;

- A análise de sensibilidade a modificações sucessivas em cada um dos coeficientes da função, permitirá comparar as lucratividades dos diversos tecidos entre si.

b) Solução

Resolvendo tal modelo para o catálogo de tecidos da Tabela 2, com poucas iterações do simplex chega-se à solução ótima do modelo ideal⁴ dada por:

(3) Por condições ideais, entenderemos a possibilidade de produzir apenas um número pequeno de tecidos diferentes, uma vez que a solução básica conterà apenas 3 componentes básicos, e ainda a possibilidade de utilização integral dos equipamentos, isto é, 24 horas por dia durante um mês de 30 dias, sem paradas.

(4) As capacidades produtivas (d_1 , d_2 , d_3) ideais são:

$$d_1 = \left(80 \frac{\text{TEARES}}{\text{LARGOS}} \times 200 \frac{\text{RPM}}{\text{MÉDIA}} + 34 \frac{\text{TEARES}}{\text{ESTREITOS}} \times 210 \frac{\text{RPM}}{\text{MÉDIA}} \right) \cdot \left(1440 \frac{\text{MIN. POR}}{\text{DIA}} \times 30 \text{ DIAS} \right) \\ = 10^9 \text{ BATIDAS EM UM MÊS.}$$

$$d_2 = \left(80 \frac{\text{TEARES}}{\text{LARGOS}} \times 200 \frac{\text{RPM}}{\text{MÉDIA}} \right) \cdot \left(1440 \frac{\text{MIN. POR}}{\text{DIA}} \times 30 \text{ DIAS} \right) = 6.90 \times 10^8 \text{ BATIDAS EM UM MÊS.}$$

$$d_3 = 6 \frac{\text{EQUIP.}}{\text{HT}} \times 126 \frac{\text{KG POR}}{\text{CARGA}} \times 30 \text{ DIAS} = 22.680 \frac{\text{KG POR CARGA}}{\text{EM UM MÊS.}}$$

TECIDO		TECELAGEM					TINTURARIA			LIM. DE MERCADO		VALORES UNITÁRIOS				INDICE
DDIGO	TIPO	LARG.	BCM	%EFL.	%SEG.	$a_{1j} = a_{2j}$	GML	%RET.	a_{3j}	INFER. (m)	SUPER. (m)	P. VENDA (CR\$)	MAT. PRM. (CR\$)	DISTRIB. (CR\$)	C. (CR\$)	J
2106	2	1	27	80	10	3750,000	244	15	0,04784	4000	20000	60,00	27,42	9,60	22,98	1
3103	2	1	29	80	10	4027,778	293	20	0,06104	4000	20000	65,00	34,23	10,40	20,37	2
3201	2	1	30	85	10	3921,569	294	20	0,06125	4000	20000	65,00	32,04	10,40	22,56	3
3229	2	1	29	86	10	3746,770	270	20	0,05625	4000	20000	58,00	27,69	9,28	21,03	4
3240	2	1	28	85	10	3660,131	290	20	0,06042	4000	20000	60,00	30,77	9,60	19,63	5
3241	2	1	28	85	10	3660,131	277	20	0,05771	4000	20000	60,00	32,30	9,60	18,10	6
5305	2	1	26	75	8	3768,116	27	10	0,06056	4000	20000	60,00	20,46	9,60	29,94	7
5105	2	1	17	70	10	2698,413	413	20	0,08604	4000	20000	58,00	20,85	9,28	27,87	8
6120	1	1	14	80	8	1902,174	300	15	0,05882	4000	20000	70,00	32,90	11,90	25,90	9
6121	1	1	21	85	8	2685,422	284	20	0,05917	4000	20000	70,00	25,46	11,20	33,34	10
6201	1	1	27	88	8	3334,980	285	20	0,05938	20000	40000	60,00	25,42	9,60	24,98	11
6238	1	1	26	80	8	3532,609	260	20	0,05417	4000	20000	54,00	21,95	8,64	23,41	12
6247	1	1	27	80	8	3668,478	291	20	0,06063	4000	20000	54,00	24,74	8,64	20,62	13
6248	1	1	30	85	8	3836,317	270	20	0,05625	4000	20000	60,00	27,20	9,60	23,20	14
8330	2	0	21	85	6	1314,143	107	15	0,02098	4000	10000	30,00	9,23	4,80	15,97	15
10007	2	0	23	80	6	1529,255	88	15	0,01725	4000	10000	30,00	8,85	4,80	16,35	16
10110	2	1	25	75	10	3703,704	225	20	0,04688	4000	20000	60,00	22,96	9,60	27,44	17
12803	0	1	26	84	10	3439,153	204	15	0,04000	4000	20000	58,00	21,98	9,28	26,74	18
12898	0	1	26	90	10	3209,877	209	15	0,04098	4000	20000	58,00	22,26	9,28	26,46	19
12899	0	1	29	90	10	3580,247	238	15	0,04667	4000	20000	58,00	24,22	9,28	24,50	20
12708	0	1	26	90	10	3209,877	196	15	0,03843	4000	20000	58,00	21,83	9,28	26,89	21
12709	0	1	26	90	10	3209,877	222	15	0,04353	4000	20000	58,00	22,71	9,28	26,01	22
12710	0	1	26	90	10	3209,877	211	15	0,04137	4000	20000	58,00	21,58	9,28	27,14	23
12711	0	1	26	90	10	3209,877	219	15	0,04294	4000	20000	58,00	22,38	9,28	26,34	24
12712	0	1	26	90	5	3040,936	0	0	0,00000	4000	20090	96,00	22,86	15,36	57,78	25
12915	1	1	24	80	10	3333,333	0	0	0,00000	4000	20000	90,00	29,66	14,40	45,94	26
12916	1	1	24	80	10	3333,333	269	15	0,05275	4000	20000	90,00	26,43	14,40	49,17	27
12917	1	1	24	80	10	3333,333	284	15	0,05569	4000	20000	90,00	27,80	14,40	47,80	28
18002	2	0	30	85	8	1918,159	77	15	0,01510	4000	10000	28,00	9,02	4,48	14,50	29
18014	2	0	28	88	6	1692,456	76	10	0,01407	4000	10000	30,00	8,69	4,80	16,51	30
18015	2	0	28	88	6	1692,456	75	10	0,01389	4000	10000	30,00	8,40	4,80	16,80	31
18016	2	0	28	88	6	1692,456	74	15	0,01451	4000	10000	30,00	8,49	4,80	16,71	32
18017	0	0	28	90	6	1654,846	94	15	0,01843	4000	10000	30,00	10,64	4,80	14,56	33
18018	2	0	28	85	6	1752,190	80	15	0,01569	4000	10000	30,00	8,88	4,80	16,32	34
18019	2	0	28	89	6	1673,440	80	10	0,01481	4000	10000	30,00	8,74	4,80	16,46	35
18020	2	0	28	88	6	1692,456	85	10	0,01574	4000	10000	30,00	9,59	4,80	15,61	36
18021	2	0	28	90	6	1654,846	85	15	0,01667	4000	10000	30,00	9,59	4,80	15,61	37
18022	2	0	28	90	6	1654,846	85	10	0,01574	4000	10000	30,00	9,32	4,80	15,88	38
21004	2	1	29	90	10	3580,247	0	0	0,00000	4000	10000	60,00	26,45	9,60	23,95	39
21903	1	1	21	80	10	2916,667	280	20	0,05833	4000	10000	60,00	28,61	9,60	21,79	40
24801	0	1	25	90	8	3019,324	277	10	0,05130	4000	10000	80,00	28,73	12,80	38,47	41
17203	2	0	30	65	10	2564,103	71	10	0,01315	4000	10000	30,00	10,36	4,80	14,84	42
3130	2	0	20	85	5	1238,390	0	0	0,00000	4000	10000	28,00	10,35	4,48	13,17	43
3136	2	0	20	85	5	1238,390	0	0	0,00000	4000	10000	30,00	11,07	4,80	14,13	44
3137	2	0	20	85	5	1238,390	0	0	0,00000	4000	10000	30,00	10,97	4,80	14,23	45
12815	0	1	26	90	10	3209,877	198	15	0,03882	4000	10000	58,00	23,27	9,28	25,45	46
12817	0	1	26	90	10	3209,877	198	15	0,03882	4000	10000	58,00	23,27	9,28	25,45	47

TIPO = Ø (POLIESTER TEXTEURIZADO) LARGURA = Ø (90 cm)
 1 (POLIESTER COM VISCOSE) 1 (150 cm)
 2 (POLIESTER COM ALGODÃO)

OBS. - GML = %RET = a_{3j} = Ø PARA OS TECIDOS PRÉ-TINGIDOS

Tabela 2 - CATÁLOGO DE TECIDOS

J={ j=1,2,...,47 }

J={ j=15,16,29,30,
31,32,33,34,
35,36,37,38,
42,43,44,45 }

J' C J

$$B = \{x_{25}, x_{19}, x_{50}\}$$

$$B^{-1} = \begin{bmatrix} 3.28846 \times 10^{-4} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$x_j = 0 \quad \forall j \neq 25, 49, 50$$

$$x_{25} = 328.846 \text{ m (tecido 12712)}$$

$$x_{49} = 6.91 \times 10^8 \text{ (folga da segunda restrição)}$$

$$x_{50} = 22680 \text{ (folga da terceira restrição)}$$

$$z = \text{CR\$ } 19.000,722,00$$

Observar que, na solução ótima, $x_{49} = d_2$. Esta igualdade se justifica porque x_{25} , a única variável principal componente da base ótima é um tecido largo, ou seja, seu coeficiente na segunda restrição é nulo ($a_{2,25} = 0$). Uma segunda observação é que $x_{50} = d_3$. Analogamente, esta igualdade se justifica porque x_{25} corresponde a um tecido pré-tingido, ou seja, seu coeficiente na terceira restrição é nulo ($a_{3,25} = 0$).

c) Modificações nos Termos Constantes

Uma vez que, neste caso particular, apenas uma variável principal participa da base ótima, e considerando as observações supra citadas, a única conclusão importante que pode ser obtida é que, com relação a d_1 , a aquisição de um novo tear, largo ou estreito, de 200 rpm, representando um acréscimo de $8,64 \times 10^6$ batidas em um mês, corresponderá uma nova solução básica dada por:

$$x^{B'} = B^{-1} (d + \delta)$$

$$x^{B'} = \left| \begin{array}{ccc|c} 3.28846 \times 10^{-4} & 0 & 0 & 10^9 + 8.64 \times 10^6 \\ 0 & 1 & 0 & 6.91 \times 10^8 \\ 0 & 0 & 1 & 22680 \end{array} \right| x = \left| \begin{array}{c} 331687 \\ 6,91 \times 10^8 \\ 22680 \end{array} \right|$$

$$z' = \text{Cr\$ } 19.164.888,00$$

Ou seja, um lucro marginal de $z' - z = \text{Cr\$ } 164.166,00$ mensais. Portanto, a viabilidade da aquisição de um novo tear na empresa poderá ser estudada comparando o custo do tear com o acréscimo de lucro bruto mensal que será obtido através do mesmo, qual seja $z' - z$.

Quanto aos termos d_2 e d_3 , não convém tirar conclusões neste caso particular, porque x_{25} corresponde a um tecido largo ($a_{2,25} = 0$) e pré-tingido ($a_{3,25} = 0$).

d) Modificações nos Coeficientes da Função Linear

Para este tipo de análise, é necessário conhecer os $z_j - c_j$ correspondentes a todas as variáveis não básicas na solução ótima. A Tabela 3 apresenta estes dados, para o modelo em estudo.

Particularmente, interessam-nos modificações sucessivas em cada um dos coeficientes da função, verificando primeiro para modificações nos coeficientes das variáveis básicas, e em segundo para as não-básicas.

Introduzindo uma modificação positiva δ_{25} no coeficiente (lucro unitário) de x_{25} , observa-se que os $z_j - c_j$ correspondentes às variáveis não básicas permanecem positivos para quaisquer $\delta_{25} \geq 0$, o que significa que a solução básica anteriormente obtida permanece ótima para quaisquer acréscimos δ_{25} no lucro unitário do tecido 12712 (x_{25}). O novo valor da função objetiva será $z' = (c_{25} + \delta_{25}) x_{25}$. Por exemplo, se o lucro unitário deste tecido for acrescido de $\delta_{25} = \text{Cr\$ } 1,00$, o lucro total ao final do período será acrescido de:

$$\Delta z = z' - z = (c_{25} + \delta_{25}) x_{25} - c_{25} x_{25} = \delta_{25} x_{25}$$

$$\Delta z = \text{Cr\$ } 1,00 \times 328.846 = \text{Cr\$ } 328.846,00$$

j	z_j	C_j	$z_j - C_j$	C_{25}^{CRIT}	$\delta_j^{\text{CRIT}}/C_j$
1	71.253	22.98	48.27	18.63	2.11
2	76.531	20.37	56.16	15.38	2.76
3	74.513	22.56	51.95	17.49	2.30
4	71.191	21.03	50.16	17.07	2.39
5	69.545	19.63	49.91	16.31	2.54
6	69.545	18.10	51.44	15.04	2.84
7	71.597	29.94	41.65	24.16	1.39
8	51.262	27.87	23.39	31.41	0.84
9	36.143	25.90	10.24	41.41	0.40
10	51.025	33.34	17.68	37.75	0.53
11	63.367	24.98	38.39	22.78	1.54
12	67.122	23.41	43.71	20.15	1.87
13	69.704	20.62	49.08	17.09	2.38
14	72.893	23.20	49.69	23.83	2.14
15	24.970	15.97	9.00	36.95	0.56
16	29.057	16.35	12.71	32.51	0.78
17	70.373	27.44	42.93	22.52	1.56
18	65.346	26.74	38.61	24.39	1.44
19	60.990	26.46	34.53	25.07	1.30
20	68.027	24.50	43.53	20.81	1.78
21	60.990	26.89	34.10	25.47	1.27
22	60.990	26.01	34.98	24.64	1.34
23	60.990	27.14	33.85	25.71	1.25
24	60.990	26.34	34.65	24.95	1.32
25	57.780	57.78	0.00	-	-
26	63.336	45.94	17.40	41.91	0.38
27	63.336	49.17	14.17	44.86	0.29
28	63.336	47.80	15.54	43.61	0.33
29	36.446	14.50	21.95	22.99	1.51
30	32.158	16.51	15.65	29.66	0.95
31	32.158	16.80	15.36	30.18	0.91
32	32.158	16.17	15.45	30.02	0.92
33	31.443	14.56	16.88	26.76	1.16
34	33.293	16.32	16.97	28.32	1.04
35	31.797	16.46	15.34	29.91	0.93
36	32.158	15.61	16.55	28.05	1.06
37	31.443	15.61	15.83	28.68	1.01
38	31.443	15.88	15.56	29.18	1.98
39	68.027	23.95	45.08	20.34	1.88
40	55.419	21.79	33.63	22.72	1.54
41	57.369	38.47	18.90	38.75	0.49
42	48.72	14.84	33.88	17.60	2.28
43	23.53	13.17	10.36	32.34	0.79
44	23.53	14.13	9.40	34.70	0.67
45	23.53	14.23	9.30	34.94	0.65
46	60.99	25.45	35.54	24.11	1.40
47	60.99	25.45	35.54	24.11	1.40

Por outro lado, subtraindo uma quantidade δ_{25} de c_{25} , a solução básica associada a B poderá não mais ser ótima. Isso acontece quando pelo menos um dos $z'_j - c_j$ se torne negativo ($j = \text{índices das não básicas}$), quando então $x_j \mid z'_j - c_j < 0$ entraria na base.

O valor de c_{25} que anula o $z'_j - c_j$ correspondente a cada va viável não-básica está calculado na coluna c_{25}^{CRIT} da Tabela 3. Obviamente, o menor valor que c_{25} pode assumir de modo a manter a solução básica na condição de otimalidade é o maior dos c_{25}^{CRIT} , as sinalado na tabela com um círculo. Em outras palavras, é permi ti da uma redução máxima de $\delta_{25}^{\text{MAX}} = c_{25} - c_{25}^{\text{CRIT}} = 57,78 - 44,86 = 12,92$, ou seja, o lucro unitário do tecido x_{25} pode ser reduzido em até Cr\$ 12,92 sem que a solução básica deixe de ser ótima.

A análise das modificações nos coeficientes das demais va riáveis (x_{49} e x_{50}) carece de significado.

Quanto às variáveis não básicas, seus coeficientes na fun ção objetiva podem decrescer até qualquer limite, sem que a so lução básica se altere ou deixe de ser ótima. No entanto, se acres centarmos quantidades δ_j sucessivamente, para $j = 1, 2, \dots, 47$ ($j \neq 25$), ao coeficiente c_j , a partir de uma modificação positiva δ_j tal que $z'_j - c_j - \delta_j$ se torne menor que zero, a variável x_j entraria na base, e a solução básica anteriormente obtida deixaria de ser ótima. Isso acontece para as modificações $\delta_j^{\text{CRIT}} > z'_j - c_j$ da Tabela 3 .

Assim, exemplificando, para que a variável x_1 (tecido 2106) entre na base, seu lucro unitário teria que ser acrescido de $\delta_1^{CRIT} = \text{CR\$ } 48,27$. Para que x_2 entre na base, seu lucro unitário teria que ser acrescido de $\delta_2^{CRIT} = \text{CR\$ } 56,16$ e assim sucessivamente⁵.

(5) Aparentemente, δ_1^{CRIT} e δ_2^{CRIT} são muito grandes, ou seja, dão-se a entender que os tecidos x_1 e x_2 dão lucros muito baixos. No Capítulo III este fato será evidenciado. No entanto, a magnitude de δ_1^{CRIT} e δ_2^{CRIT} deve-se principalmente ao fato que o lucro unitário de x_{25} é irreal, ou seja, seu preço de venda foi super-estimado no modelo.

2.9.2. Aplicação - Caso Real

Em média, cêrca de 17% da capacidade produtiva são perdas em cada tear, por rompimento de fios, preparação da máquina, troca de rolos, manutenção e outros fatores, e a mesma porcentagem se aplica aos equipamentos da tinturaria. Assim, os termos constantes tornam-se:

$$d_1 = 0.83 \times 10^9 = 8.3 \times 10^8 \text{ Batidas em um mês}$$

$$d_2 = 0.83 \times 6.91 \times 10^8 = 5.74 \times 10^8 \text{ Batidas em um mês}$$

$$d_3 = 0.83 \times 22680 = 18800 \text{ kg por carga em um mês}$$

Por outro lado, a solução obtida em 2.8.1. não satisfaz aos limites de mercado de cada tecido (Tabela 2). Introduzindo os limites superiores de mercado, o modelo terá $(p + 3)$ restrições, e $(n + p + 3)$ variáveis sendo n principais (tecidos) e $p + 3$ de folga, correspondentes às $p + 3$ restrições do tipo menor ou igual, com a formulação (P_1) descrita no item 2.6. Para o catálogo da Tabela 2, o modelo se compõe de 50 equações de restrição (as 3 primeiras correspondem às capacidades produtivas, e as 47 restantes aos limites máximos de mercado), e 97 variáveis (47 principais, e 50 de folga). Para a solução deste modelo, implementou-se o algoritmo simplex revisado, em linguagem ALGOL-60 no computador Burroughs B-6700 da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e posteriormente aperfeiçoado e implementado no IBM/370-145 da Universidade Federal da Paraíba, como package para uso geral.

Uma observação importante diz respeito aos limites mínimos de mercado ℓ_j^1 , os quais não compõem equações de restrição no modelo, porque o programa realiza automaticamente a mudança de variáveis, a qual pode ser descrita suscintamente como segue:

1 - Cada variável $x_j | \ell_j^1 \neq 0$ é substituída por outra variável

$$x_j^1 = x_j - \ell_j^1$$

2 - Os termos constantes das restrições tornam-se $d_i^1 = d_i - \sum_j a_{ij} \ell_j^1$

3 - A função objetiva assume, em lugar de zero, um valor inicial finito dado por:

$$z^1 = \sum_j x_j \ell_j^1 c_j$$

O programa composto pelos limites inferiores pode não ser viável, o que ocorrerá se, pelo menos um dos $d_i^1 = d_i - \sum_j a_{ij} \ell_j^1$ for negativo. Neste caso, os limites inferiores deverão ser reformulados.

A execução do programa com os dados descritos trouxe os resultados da Tabela 4.

É importante lembrar que, deste ponto até o final do presente capítulo, todas as interpretações e análises são conjunturais, isto é, válidas apenas para os dados fornecidos, e pressupondo-se que a fábrica irá efetivamente produzir os artigos nas quantidades indicadas na solução ótima do caso.

Como se vê na Tabela 4, apenas os tecidos 6121, 6120, 12712, 12915, 12916, 12917 e 24801 participam da base ótima⁶, ou seja, a base ótima é composta por apenas 7 variáveis principais, e 43 variáveis de folga, o que de certa forma já era esperado, dadas as características peculiares do problema (capacidade produtiva expressa em apenas 3 restrições, sendo as 47 restrições restantes, devidas aos limites individuais de mercado dos tecidos respectivos).

(6) Os demais, apesar de não nulos, não são básicos pois seus valores finais correspondem aos limites mínimos de mercado, tratados por mudança de variável pelo programa.

CODIGO 1
 TECELAGEM SPERB SA SELECAO DE PRODUTOS - 3 ITERACOES

INDICE	TECIDO	TVR	QUANTID(M)	FATURAMENTO	LUCRO BRUTO
1	2106	0	4,000	\$240,000.00	\$130,320.00
2	3103	0	4,000	\$260,000.00	\$123,080.00
3	3201	0	4,000	\$260,000.00	\$131,840.00
4	3239	0	4,000	\$232,000.00	\$121,240.00
5	3240	0	4,000	\$240,000.00	\$116,920.00
6	3241	0	4,000	\$240,000.00	\$110,800.00
7	5305	0	4,000	\$240,000.00	\$158,160.00
8	5105	0	4,000	\$232,000.00	\$148,600.00
9	6120	0	20,000	\$1,400,000.00	\$742,000.00
10	6121	0	4,547	\$318,321.23	\$202,543.25
11	6201	0	20,000	\$1,200,000.00	\$691,600.00
12	6238	0	4,000	\$216,000.00	\$128,200.00
13	6247	0	4,000	\$216,000.00	\$117,040.00
14	6248	0	4,000	\$240,000.00	\$131,200.00
15	8330	0	4,000	\$120,000.00	\$83,080.00
16	10007	0	4,000	\$120,000.00	\$84,600.00
17	10110	0	4,000	\$240,000.00	\$148,160.00
18	12803	0	4,000	\$232,000.00	\$144,080.00
19	12898	0	4,000	\$232,000.00	\$142,960.00
20	12899	0	4,000	\$232,000.00	\$135,120.00
21	12708	0	4,000	\$232,000.00	\$144,680.00
22	12709	0	4,000	\$232,000.00	\$141,160.00
23	12710	0	4,000	\$232,000.00	\$145,680.00
24	12711	0	4,000	\$232,000.00	\$142,480.00
25	12712	0	20,000	\$1,920,000.00	\$1,462,800.00
26	12915	0	20,000	\$1,300,000.00	\$1,206,800.00
27	12916	0	20,000	\$1,800,000.00	\$1,271,400.00
28	12917	0	20,000	\$1,800,000.00	\$1,244,000.00
29	18002	0	4,000	\$112,000.00	\$75,920.00
30	18014	0	4,000	\$120,000.00	\$85,240.00
31	18015	0	4,000	\$120,000.00	\$86,400.00
32	18016	0	4,000	\$120,000.00	\$86,040.00
33	18017	0	4,000	\$120,000.00	\$77,440.00
34	18018	0	4,000	\$120,000.00	\$84,480.00
35	18019	0	4,000	\$120,000.00	\$85,040.00
36	18020	0	4,000	\$120,000.00	\$81,640.00
37	18021	0	4,000	\$120,000.00	\$81,640.00
38	18022	0	4,000	\$120,000.00	\$82,720.00
39	21004	0	4,000	\$240,000.00	\$134,200.00
40	21903	0	4,000	\$240,000.00	\$125,560.00
41	24801	0	10,000	\$800,000.00	\$512,700.00
42	17203	0	4,000	\$120,000.00	\$78,560.00
43	3130	0	4,000	\$112,000.00	\$70,600.00
44	3136	0	4,000	\$120,000.00	\$75,720.00
45	3137	0	4,000	\$120,000.00	\$76,120.00
46	12815	0	4,000	\$232,000.00	\$138,920.00
47	12817	0	4,000	\$232,000.00	\$138,920.00
48	0	1	0	\$0.00	\$0.00
49	0	1	468,316,701	\$0.00	\$0.00
50	0	1	8,306	\$0.00	\$0.00
51	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
52	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
53	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
54	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
55	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
56	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
57	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00

58	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
59	0	1	0	\$0.00	\$0.00
60	0	1	15,453	\$0.00	\$0.00
61	0	1	20,000	\$0.00	\$0.00
62	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
63	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
64	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
65	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
66	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
67	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
68	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
69	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
70	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
71	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
72	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
73	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
74	0	1	16,000	\$0.00	\$0.00
75	0	1	0	\$0.00	\$0.00
76	0	1	0	\$0.00	\$0.00
77	0	1	0	\$0.00	\$0.00
78	0	1	0	\$0.00	\$0.00
79	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
80	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
81	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
82	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
83	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
84	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
85	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
86	0	1	5,000	\$0.00	\$0.00
87	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
88	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
89	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
90	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
91	0	1	0	\$0.00	\$0.00
92	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
93	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
94	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
95	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
96	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00
97	0	1	6,000	\$0.00	\$0.00

TABELA 4 - RESULTADOS DO PROGRAMA LINEAR

QUANT. DE TECIDOS	=	47
FATURAMENTO PREV.	=	18,366,321.23
CUSTO TOTAL PREV.	=	14,634,940.93
LUCRO LIQUIDO	=	3,731,380.30
P.V.U. MEDIO	=	63.21
C.U. MEDIO	=	50.37

Ainda na Tabela 4, pode-se observar que a variável de folga x_{48} , correspondente à folga da capacidade dos teares, tem valor zero, o que não ocorre com x_{50} , a folga do setor de tinturaria. Conclui-se que os recursos da tecelagem foram exauridos (estrangulamento), havendo capacidade ociosa no setor de tinturaria. A ociosidade do setor de tinturaria é expressa pelo valor de x_{50} na solução final.

A análise de sensibilidade a variações nos termos independentes das equações de restrição, cujos resultados encontram-se na Tabela 5, trouxe os seguintes resultados principais:

- A cada batida de tear adicional que a fábrica conseguir no período, corresponderá um lucro marginal de CR\$ 0,0165858. A aquisição de um novo tear de 200 rpm representa um acréscimo ao lucro bruto de CR\$ 0,0165858 x (200 rpm x 1440 min/dia x 30 dias x 83%) = CR\$ 118.840,00 mensais.

- O estrangulamento da produção permanece no setor de tecelagem até um acréscimo de capacidade máximo de 41.496.627 batidas, o que corresponde à aproximadamente 6 teares -mes de 200 rpm. Se a fábrica adquirir os 6 teares, o lucro marginal correspondente será de 41.496.627 x CR\$ 0,0165858 \approx CR\$ 688.000.00.

- O fato de que a base ótima é constituída apenas com tecidos largos é comprovado pela folga da 49ª restrição, correspondente à capacidade produtiva dos teares largos, cujo valor é igual à capacidade total inicial destes teares.

- O setor de tinturaria apresenta, para a combinação básica final, uma capacidade ociosa de 8.305,54 kg de tecido por carga, o que equivale aproximadamente à capacidade de 2,5 HT'S (um HT dá uma capacidade de 83% x 126 kg/carga x 30 dias = 3150 kg/carga em um mês). Normalmente, não deveria haver essa grande capacidade ociosa. Justifica-se para o caso porque, na base ótima,

RESTRIÇÃO	ARTIGO	L.R. MARGINAL	MAX. VAR. SUP.	MAX. VAR. INF.
TEAR U E 1 [PAT]		0.0165333	41496527.96	12211811.93
TEAR LARG.1 [PAT]		0.0000000	1.00E+60	468316701.26
TURBO HT [KGGG]		0.0000000	1.00E+60	8305.54
MERCADO [M]	2106	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	3103	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	3201	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	3239	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	3240	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	3241	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	5305	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	5105	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	6120	5.5508333	6419.92	20000.00
MERCADO [M]	6121	0.0000000	1.00E+60	15452.55
MERCADO [M]	6201	0.0000000	1.00E+60	20000.00
MERCADO [M]	6238	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	6247	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	6248	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	8330	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	10007	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	10110	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	12803	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	12898	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	12899	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	12708	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	12709	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	12710	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	12711	0.0000000	1.00E+60	16000.00
MERCADO [M]	12712	22.7035043	4015.81	13646.01
MERCADO [M]	12915	5.0538413	3663.54	12448.99
MERCADO [M]	12916	8.2838413	3663.54	12448.99
MERCADO [M]	12917	6.9138413	3663.54	12448.99
MERCADO [M]	18002	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	18014	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	18015	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	18016	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	18017	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	18018	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	18019	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	18020	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	18021	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	18022	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	21004	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	21903	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	24801	1.1919577	4044.55	10000.00
MERCADO [M]	17203	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	3130	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	3136	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	3137	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	12815	0.0000000	1.00E+60	6000.00
MERCADO [M]	12817	0.0000000	1.00E+60	6000.00

TABELA 5

alguns artigos são pré-tingidos, e portanto não consomem recursos da tinturaria.

CAPÍTULO III

CÁLCULO DOS CUSTOS UNITÁRIOS, PARA CONFERÊNCIA DOS PREÇOS DE VENDAS

3.1. INTRODUÇÃO

Para a identificação dos artigos mais e menos lucrativos, é possível utilizar, posteriormente à solução do programa linear, algum critério de distribuição dos custos indiretos, permitindo uma análise e comparações quantitativas das margens de contribuição dos artigos entre si.

No item 3.2. estão identificadas e classificadas as espécies de custo que ocorrem em cada um dos centros de custo da empresa. No item 3.3. descreve-se o critério de rateio dos custos indiretos e, finalmente, o item 3.4. descreve a aplicação do método ao caso real.

3.2. COMPONENTES DOS CUSTOS

A fim de simplificar o mapa de localização de custos, a tabela de centros de custos foi reduzida a 3 centros principais: Te

celagem, Tinturaria e Expedição.

A Tecelagem e Tinturaria compreendem custos ditos "industriais", ao passo que os custos de Expedição são chamados "custos de distribuição".

Quanto às espécies de custos, tem-se:

3.2.a. Custos Fixos Administrativos.

- Honorários, ordenados e encargos sociais,
- Despesas gerais de administração,
- Promoções,
- Viagens,
- Despesas de financiamentos,
- Diversos.

3.2.b. Custos Indiretos Industriais (Tecelagem e Tinturaria)

- Depreciações,
- Mão de obra direta¹ e encargos sociais,
- Água, energia elétrica e combustíveis,
- Materiais auxiliares,
- Manutenção de equipamentos,
- Conservação de prédios,
- Seguros e prevenção contra sinistros,
- Segurança,
- Ferramentas,
- Diversos.

(1) Existem razões para considerar "indiretos" espécies de custos normalmente "diretos", como ocorre com a mão de obra direta. Tais razões são decorrentes da natureza intrínseca do processo de produção de tecido (em especial, a homogeneidade dos fluxos de produção dos produtos).

3.2.c. Custos Diretos Industriais.

No Centro Tecelagem:

- Fios da trama (lateral),
- Fios de urdume (longitudinal).

No Centro Tinturaria:

- Cores e anilinas,
- Solventes.

3.2.d. Custos Diretos de Distribuição.

Considera-se uma taxa de 16% sobre o preço de venda do pro
duto, referente a:

- Comissões.....	3,0%
- Fretes.....	1,5%
- ICM.....	7,5%
- PIS.....	0,75%
- Despesas bancárias.....	3,0%
- Embalagens.....	<u>0,25%</u>
	16,00%

3.3. CRITÉRIOS DE RATEIO

Os custos fixos e indiretos, para fins de verificação e au
ditoria dos preços de venda, devem ser rateados proporcionalmente
à dificuldade de produção de cada tecido, ou seja, aos recursos
consumidos por metro de cada tecido.

O consumo de recursos é expresso pelos coeficientes tecno
lógicos das restrições de capacidade produtiva (Tecelagem e Tintu
raria) correspondentes ao problema do Capítulo II. (a_{1j} , a_{2j} e a_{3j}
respectivamente).

Assim, para cada tecido j tem-se:

3.3.1. Custo Unitário Indireto de Tecelagem.

$$CUITE_j = \frac{CITE \times a_{1j}}{\sum_{j \in J} (a_{1j} x_j)} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Onde:

$J = 1, 2, \dots, n$ = Conjunto dos Índices das variáveis principais - tecidos - do problema de seleção de produtos do Capítulo II.

$CITE$ [CR\$] = Custo indireto do setor tecelagem, previsto para o período.

a_{1j} [Batidas/m] = Coeficiente tecnológico do tecido j na primeira equação de restrição do problema de seleção (correspondente à capacidade produtiva do setor tecelagem).

x_j [m] = Variável de decisão: o valor de x_j na solução ótima final do problema de seleção. Uma consideração importante é fazer $\bar{x}_j = 1$ metro para os tecidos não básicos, de modo a não excluí-los do rateio.

3.3.2. Custo Unitário Indireto de Tinturaria.

$$CUITI_j = \frac{CITI \times a_{3j}}{\sum_{j \in J} (a_{3j} x_j)}$$

Onde:

$CITI$ [CR\$] = Custo indireto do setor de tinturaria, previsto para o período.

a_{3j} $\left[\frac{\text{kg} \times \text{dia}}{\text{Carga} \times \text{m}} \right]$ = Coeficiente tecnológico da terceira equação de restrição do problema de seleção, correspondente à capacidade produtiva do setor tinturaria.

3.3.3. Custo Unitário Direto de Distribuição.

$$\text{CUDI}_j = 0,16 \times v_j$$

Onde:

v_j [CR\$] = Preço unitário de venda.

3.3.4. Custo Unitário Total.

$$\text{CUT}_j = \text{CUITE}_j + \text{CUITI}_j + \text{CUDI}_j + C_j$$

Onde:

C_j [CR\$] = Custo direto de matéria prima.

3.3.5. Contribuição Marginal.

$$\text{CM}_j = \frac{v_j - \text{CUT}}{v_j}$$

3.4. UMA APLICAÇÃO

Para o rateio e demais cálculos previamente descritos neste Capítulo, implementou-se um algoritmo conveniente no equipamento B-6700 da UFRGS, em ALGOL-60.

Aplicado o algoritmo ao catálogo da Tabela 2, para a solução ótima do programa linear, chegou-se aos resultados da Tabela 6, na qual a coluna mais à direita representa, em termos percentuais, a parcela do preço de venda correspondente ao lucro líquido unitário. As colunas COEF1 e COEF2 correspondem, respectivamente, aos coeficientes tecnológicos a_{1j} e a_{3j} , das restrições de capacidade produtiva, ou seja, os coeficientes padrões para rateio dos custos indiretos.

Na Tabela 6, constata-se que as "MARGENS DE LUCROS % UNITÁRIOS" variam, para os artigos do catálogo, de - 13% a + 52% do pre

ção de venda, e que obviamente sugere uma revisão nos preços do ca
tálogo.

TECELAGEM SPERR SA

ANALISE DE CUSTOS

I CODIGO	T L	QUANT.(M)	P.U.V.	FATURAMENTO	COEF1	CIUTE	CDUTE	COEF2	CIUTI	CDUTI	CDUCI	C.UNI	%LU. I
2106	2	1	4,000	240,000.00	3750.0	14.50	27.42	0.04784	11.77	0.00	7.01	60.70	-0.01
3103	2	1	4,000	260,000.00	4027.8	15.57	34.23	0.06104	15.02	0.00	7.60	72.42	-0.11
3201	2	1	4,000	200,000.00	3921.8	15.16	32.04	0.06125	15.07	0.00	7.60	69.87	-0.07
3239	2	1	4,000	232,000.00	3746.8	14.48	27.67	0.05625	13.84	0.00	6.78	62.79	-0.08
3240	2	1	4,000	240,000.00	3660.1	14.15	30.77	0.06042	14.86	0.00	7.01	66.80	-0.11
3241	2	1	4,000	240,000.00	3789.1	14.57	32.30	0.05771	14.20	0.00	7.01	67.66	-0.13
5305	2	1	4,000	240,000.00	2698.4	10.43	20.85	0.08604	14.90	0.00	7.01	56.94	0.05
5105	2	1	4,000	232,000.00	1902.2	7.35	32.90	0.05882	21.17	0.00	6.78	59.23	-0.02
6120	1	1	20,000	1,400,000.00	1902.2	10.38	25.46	0.05917	14.47	0.00	8.18	62.91	0.10
6201	1	1	4,547	318,341.23	2685.4	12.89	25.46	0.05917	14.56	0.00	8.18	58.58	0.16
6238	1	1	4,000	216,000.00	3335.0	13.66	25.42	0.05938	14.61	0.00	7.01	59.94	0.00
6247	1	1	4,000	216,000.00	3532.6	13.66	21.95	0.05417	13.33	0.00	6.31	55.25	-0.02
6248	1	1	4,000	216,000.00	3669.5	14.18	24.74	0.06063	14.92	0.00	6.31	60.15	-0.11
6330	1	1	4,000	240,000.00	3836.3	14.83	27.20	0.05625	13.84	0.00	7.01	62.88	-0.05
10007	2	0	4,000	120,000.00	1314.1	5.08	9.23	0.02098	5.16	0.00	3.51	22.98	0.23
10110	2	0	4,000	120,000.00	1529.3	5.91	8.85	0.01725	4.25	0.00	3.51	22.51	0.25
12803	2	1	4,000	240,000.00	3703.7	14.32	22.96	0.04688	11.53	0.00	7.01	55.83	0.07
12898	0	1	4,000	232,000.00	3439.2	13.30	21.96	0.04000	9.84	0.00	6.78	51.90	0.11
12899	0	1	4,000	232,000.00	3580.2	12.41	22.26	0.04098	10.08	0.00	6.78	51.53	0.11
12702	0	1	4,000	232,000.00	3580.2	13.84	24.22	0.04667	11.48	0.00	6.78	56.32	0.03
12709	0	1	4,000	232,000.00	3209.9	12.41	21.83	0.03843	9.46	0.00	6.78	50.47	0.13
12710	0	1	4,000	232,000.00	3209.9	12.41	22.71	0.04333	10.71	0.00	6.78	52.61	0.09
12711	0	1	4,000	232,000.00	3209.9	12.41	21.58	0.04137	10.18	0.00	6.78	50.95	0.12
12712	0	1	4,000	232,000.00	3209.9	12.41	22.38	0.04294	10.57	0.00	6.78	52.13	0.10
12916	1	1	20,000	1,800,000.00	3333.3	11.76	22.86	0.00000	0.00	0.00	11.42	45.84	0.52
12917	1	1	20,000	1,800,000.00	3333.3	12.89	26.43	0.00000	0.00	0.00	10.52	53.07	0.41
18002	2	0	4,000	112,000.00	1918.2	7.42	9.02	0.01510	12.98	0.00	10.52	62.81	0.30
18014	2	0	4,000	112,000.00	1692.5	6.54	8.69	0.01407	3.71	0.00	3.27	23.42	0.16
18015	2	0	4,000	120,000.00	1692.5	6.54	8.69	0.01389	3.42	0.00	3.51	22.20	0.26
18016	2	0	4,000	120,000.00	1692.5	6.54	8.49	0.01451	3.57	0.00	3.51	21.87	0.27
18017	2	0	4,000	120,000.00	1654.8	6.40	10.64	0.01843	4.53	0.00	3.51	22.11	0.26
18018	2	0	4,000	120,000.00	1752.2	6.40	8.88	0.01569	3.86	0.00	3.51	25.08	0.16
18019	2	0	4,000	120,000.00	1673.4	6.47	8.74	0.01481	3.65	0.00	3.51	23.36	0.23
18020	2	0	4,000	120,000.00	1692.5	6.54	9.59	0.01574	3.87	0.00	3.51	23.51	0.22
18021	2	0	4,000	120,000.00	1654.8	6.40	9.59	0.01667	4.10	0.00	3.51	23.60	0.21
18022	2	0	4,000	120,000.00	1654.8	6.40	9.32	0.01674	3.87	0.00	3.51	23.10	0.23
21004	2	1	4,000	240,000.00	3580.2	13.84	26.45	0.00000	0.00	0.00	7.01	47.30	0.21
21903	1	1	4,000	240,000.00	2916.7	11.28	28.61	0.05833	14.35	0.00	7.01	61.25	-0.02
24801	0	1	10,000	80,000.00	3019.3	11.67	28.73	0.05130	12.62	0.00	9.35	62.38	0.22
17203	2	0	4,000	120,000.00	2564.1	9.91	10.36	0.01315	3.23	0.00	3.51	27.01	0.10
3130	2	0	4,000	112,000.00	1238.4	4.79	10.35	0.00000	0.00	0.00	3.27	18.41	0.34
3136	2	0	4,000	120,000.00	1238.4	4.79	11.07	0.00000	0.00	0.00	3.51	19.36	0.35
3137	2	0	4,000	120,000.00	1238.4	4.79	11.07	0.00000	0.00	0.00	3.51	19.26	0.36
12815	0	1	4,000	232,000.00	3209.9	12.41	23.27	0.03882	9.55	0.00	6.78	52.01	0.10
12817	0	1	4,000	232,000.00	3209.9	12.41	23.27	0.03882	9.55	0.00	6.78	52.01	0.10

TABELA 6

FATURAMENTO DO PERIODO =	\$18,366,321.21
LUCRO BRUTO DO PERIODO =	\$11,728,403.25
CUSTO FIXO ADMINISTRAT. =	\$3,500,000.00
CUSTO INDIRETO TECEL. =	\$1,293,000.00
CUSTO INDIRETO TINTUR. =	\$1,057,000.00
CUSTO DE DISTRIBUICAO =	\$2,147,022.95
LUCRO LIQUIDO =	\$3,731,300.30

CAPÍTULO IV

SEQUENCIAÇÃO DO PLANO MENSAL DE PRODUÇÃO E ALOCAÇÃO DOS GRUPOS DE TEARES

4.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O procedimento usual na empresa é a sequenciação por ordem ascendente de data-de-entrega, ou seja, "o primeiro job a ser produzido é aquele cuja data-de-entrega (due-date) é menor". Este procedimento, sob o ponto de vista econômico, tem o inconveniente de não considerar nenhuma forma de penalidade associada ao valor do job. Neste Capítulo, buscou-se demonstrar que a melhor sequência não é a EDD (Earliest Due-Date). Utilizou-se uma combinação de algoritmos de sequenciação conhecidos, para encontrar, iterativamente, modificações sobre a EDD original, que reduzam uma função penalidade conveniente.

Foram identificadas duas penalidades:

- A primeira, associada ao atraso em relação à data prevista para a entrega do produto. A legislação brasileira prevê que, uma vez emitida uma duplicata, esta pode ser "descontada" em ban

cos, sendo que a mesma só pode ser emitida após o produto ser "despachado", da origem (no caso, a Fábrica). Ora, a empresa opera com altos níveis de financiamento de capital de giro; logo, a cada dia de atraso, associa-se uma penalidade igual à taxa de juros correspondente ao capital financiado, aplicada ao valor do pedido.

- A segunda penalidade constitui uma descontinuidade na função penalidade, associada à "data do aceite" da duplicata pelos clientes. É usual emitir títulos com vencimentos no dia 30 de cada mês. Se o produto fôr entregue entre 1º e 31 de março por exemplo, a duplicata vencerá no dia 30 do mês seguinte, ou seja, 30 de abril, porém, ultrapassado o fim do mês em um ou mais dias, o vencimento do título terá que ser adiado em mais 30 dias; no caso citado, se o produto fôr entregue no dia 1º de abril, o vencimento do título terá que ser adiado para 30 de maio, o que atraza o fluxode caixa da empresa em 30 dias. Assim, associado ao atraso em relação ao fim do mês, ocorre uma penalidade igual a 30 dias, à taxa de rendimento de capital da empresa sobre o valor de pedido.

Quanto aos recursos de produção, no caso os teares, foram reduzidos a um só tear, para simplificação do porte do problema, tendo tal tear hipotético uma capacidade de produção (velocidade em rpm) igual à soma das capacidades de todos os teares (atualmente 114 teares). Ainda, considerando que o tecido estreito é processado "a dois" nos teares largos, o plano de produção deve ser sequenciado em duas etapas:

- A primeira, só para os tecidos estreitos, considerando a penas a capacidade equivalente ao total dos teares largos alocados, em dôbro.

- A segunda, só para os tecidos largos, considerando a capacidade dos teares largos restantes mais a capacidade total dos teares estreitos.

Quanto à escolha da quantidade de teares largos alocados a

tecidos estreitos, pode ser feita previamente à utilização do algoritmo, proporcionalmente à demanda dos tecidos estreitos em relação à demanda total de tecidos largos e estreitos, sendo a demanda, no caso, expressa em "batidas de tear" necessários.

Um procedimento mais formal seria, evidentemente, utilizar programação dinâmica para a solução em dois estágios, expressando os retornos (penalidades) de cada estágio em forma tabular, e resolvendo para alocações sucessivas de 1, 2, etc., teares largos aos tecidos estreitos, escolhendo-se, finalmente, a alocação que minimizasse a penalidade total.

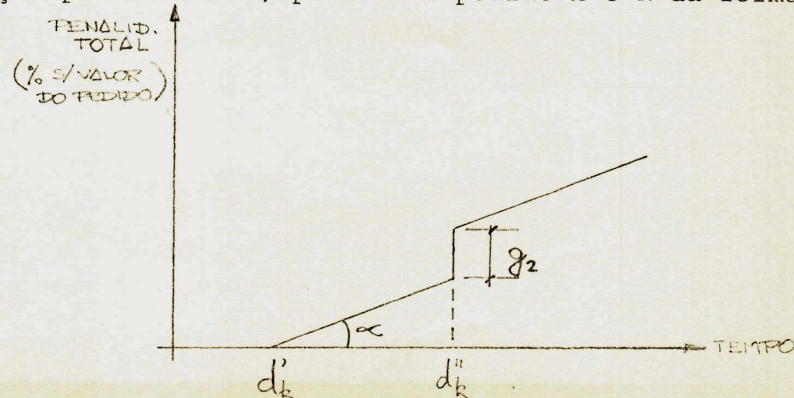
Quanto ao tingimento, considerou-se uma folga de um dia, a ser subtraída da data-de-entrega e da data do aceite previstas, uma vez que a Requisição de Cores pode ser recebida até 2 dias antes dessa mesma data. A programação diária do tingimento encontra-se no Capítulo V.

4.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Com as suposições descritas no ítem anterior, o problema se reduz, em cada etapa, a sequenciar S pedidos em uma máquina única, de modo a minimizar a penalidade total.

Seja o conjunto $K = \{1, 2, \dots, S\}$ dos índices dos pedidos a serem sequenciados na máquina única.

A função penalidade é, para cada pedido $k \in K$ da forma abaixo:



Onde:

$$\alpha = \text{arc tg} \left(\frac{g_1}{30} \right)$$

g_1 = Taxa de juros financeiros, mensal.

g_2 = Taxa de rentabilidade mensal do capital da empresa.

Para cada job (pedido), são conhecidos:

d'_k = Primeira data (due-date 1), dada pela data-de-entrega prevista para o pedido k , menos o tempo de transporte, e menos um dia para o tingimento.

d''_k = Segunda data (due-date 2), dada pelo "dia 30 de d'_k ", (data do aceite) menos o tempo de transporte, e menos um dia para tingimento.

$v_k[\text{CR\$}]$ = Valor do pedido k = preço unitário x quantidade solicitada.

$d_k[\text{BATIDAS/cm}]$ = Densidade linear do tecido do pedido k , acabado.

$s_k[\%]$ = Percentagem de tecido de 1ª qualidade, do pedido k .

$e_k[\%]$ = Eficiência do tecido do pedido k nos teares.

$l_k[\text{m}]$ = Quantidade de tecido, em metros do pedido k .

Sobre a máquina, hipotética, conhecemos:

$V[\text{RPM}]$ = Velocidade da máquina hipotética, em rotações por minuto, dada pela soma das velocidades dos teares alocados.

Assim, para cada tecido obtém-se o tempo de processamento por:

$$t_k = \frac{100 d_k \times l_k}{S_k \times e_k \times 60 \times 24 \text{ V}} \text{ [DIAS]}$$

A penalidade do k-ésimo job na sequência pode, então, ser obtida por:

$$(1) C_{[k]} = \begin{cases} \phi \text{ (zero), se } \sum_{r=1}^k t_{[r]} \leq d'_{[k]} \\ \alpha \left(\sum_{r=1}^k t_{[r]} - d'_{[k]} \right), \text{ se } d'_{[k]} < \sum_{r=1}^k t_{[r]} \leq d''_{[k]} \\ \alpha \left(\sum_{r=1}^k t_{[r]} - d'_{[k]} \right) + g_2, \text{ se } d''_{[k]} < \sum_{r=1}^k t_{[r]} \end{cases}$$

Onde $t_{[r]}$, $d'_{[r]}$, $d''_{[r]}$, etc., representam respectivamente o tempo de processamento, a data-1 e a data-2 do r-ésimo job na sequência.

O problema de sequenciação pode então ser formulado genericamente como:

$$\min \sum_{k=1}^S C_{[k]} V_{[k]}, \text{ onde } C_{[k]} \text{ é definido por (1)}$$

4.3. METODOLOGIA DE SOLUÇÃO

Como a função custo, a ser minimizada, é bastante irregular, procurou-se um método heurístico que fosse capaz de pelo menos reduzir significativamente a penalidade total (soma das penalidades de todos os jobs).

O heurístico utilizado para reduzir a penalidade total é, em cada estágio, definido pelos passos da Figura 4, cuja descrição segue:

1º Passo: Sequenciação dos jobs, pela data-1, em ordem ascendente, e cálculo da penalidade.

Método usado para classificação: Shellsort.

2º Passo: Redução da penalidade total, pela aplicação do algoritmo de Hodgson's, com algumas modificações. A lógica do algoritmo, ilustrando a modificação introduzida, está representada na Figura 5.

3º Passo: Reduções sucessivas da penalidade total, pela aplicação da solução heurística conhecida como "1 - optimal" para o "Traveling Salesman Problem". O algoritmo está representado na Figura 6.

O procedimento dinâmico consiste em executar a composição de algoritmos descrita acima para alocações sucessivas de 1, 2, 3, etc., teares largos exclusivamente aos tecidos estreitos, sendo os tecidos largos processados nos teares restantes (largos e estreitos). A melhor alocação, obviamente, é a que apresenta a menor penalidade total (soma das penalidades de tecidos largos e estreitos).

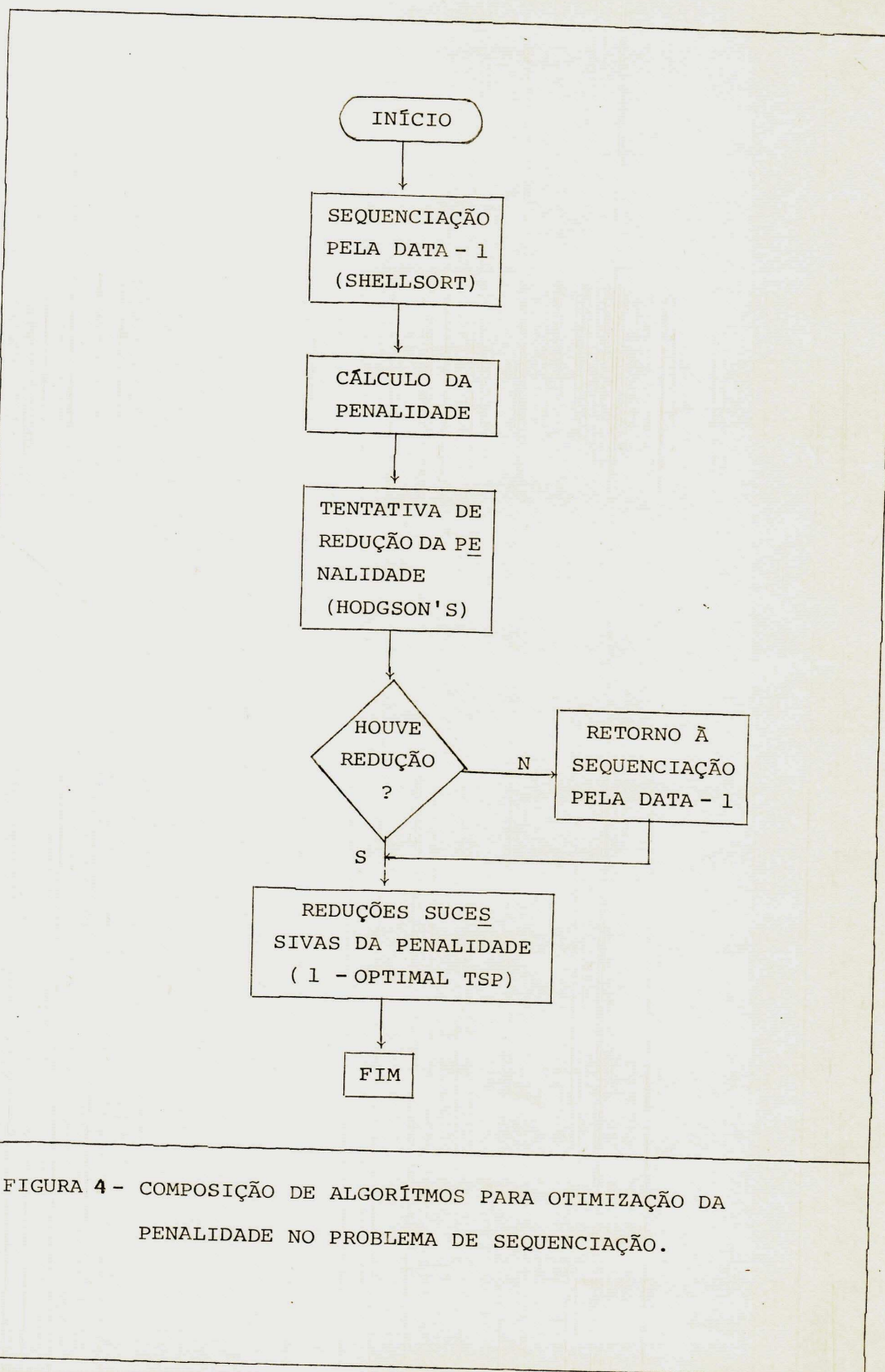
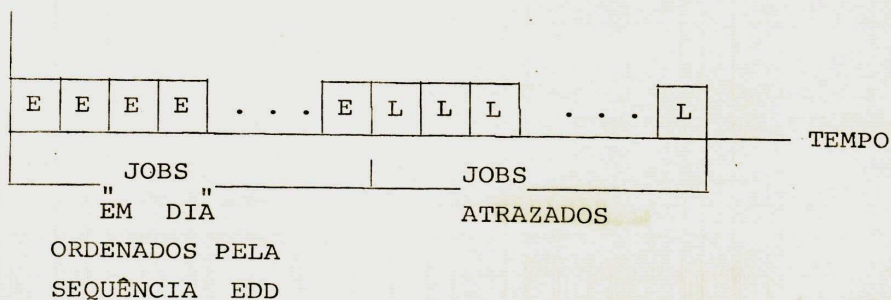


FIGURA 4 - COMPOSIÇÃO DE ALGORÍTMOS PARA OTIMIZAÇÃO DA PENALIDADE NO PROBLEMA DE SEQUENCIAÇÃO.

a. ALGORÍTMO ORIGINAL (PARA $\text{MIN } N_T$)



ORDENADOS PELA
SEQUÊNCIA EDD

- Passo 1: Inicialmente, assume-se o conjunto E contendo todos os job's ordenados pela data-1 (EDD), e o conjunto L vazio.
- Passo 2: Se nenhum job em E esta atrasado, pela data-2, para: E deve ser a sequênça ótima. Caso contrário, identifique o primeiro job atrasado em E, seja este o job [k] .
- Passo 3: Identifique o job de maior duração entre os primeiros k jobs na sequênça. Remova este job de E e insira-o em L. Recalcule as datas de término dos jobs restantes em E, e retorne ao passo 2.

b. MODIFICAÇÃO (PARA REDUZIR A PENALIDADE TOTAL)

A modificação, introduzida no passo 3 do algoritmo, consiste em identificar não o job de maior duração, mas sim aquele que apresentar a maior relação duração/valor-do-pedido. Uma vez que nos interessa minimizar a penalidade total, a qual é proporcional ao valor de cada pedido, os jobs de maior valor deveriam ser produzidos antes. Por outro lado, a penalidade é também proporcional ao atraso do job, donde os jobs de menor duração deveriam ser produzidos antes. A relação mencionada visa ponderar estes 2 critérios contraditórios.

O algoritmo se destina apenas a acelerar o processo iterativo de reduções sucessivas da penalidade.

Evidentemente, a sequênça do algoritmo modificado não será, ainda, ótima.

FIGURA 5 - ALGORÍTMO DE HODGSON'S

MINIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE "TARDY JOBS" (N_T),
MODIFICADO PARA O PROBLEMA

Passo 1 - Inicialmente, temos um conjunto de jobs pré-ordenado.

Passo 2 - Para cada job da sequência, verifique se o mesmo está atrasado. Se estiver "em dia", teste o job seguinte (volte ao Passo 2). Caso contrário, seja o job $[k]$ atrasado na sequência.

Passo 3 - Para os jobs $[r] = [1], [2], \dots, [k - 1]$, anteriores ao job $[k]$, identifique a maior redução de penalidade possível de se obter através do procedimento MODIFICAÇÃO, descrito abaixo.

Passo 4 - Execute o procedimento de MODIFICAÇÃO de sequência, correspondente à maior redução identificada, e volte ao Passo 2.

MODIFICAÇÃO:

- a - Retire o job $[r]$ da sequência;
- b - Para $r = r, r + 1, \dots, k - 1$ faça o job $[r]$ igual ao job $[r + 1]$;
- c - Faça o job $[k]$ igual ao job retirado em "a".

FIGURA 6 - ALGORÍTMO PARA REDUÇÕES
SUCESSIVAS DA PENALIDADE TOTAL

4.4 UMA APLICAÇÃO

Evidentemente, para a utilização sistemática e periódica do método descrito, é necessário interligar o algoritmo de sequênciação a um sistema de informação capaz de controlar e manter registros atualizados dos estoques intermediários, bem como da situação de cada equipamento, no que se refere a artigos em fabricação. Tal sistema de informações foge ao escopo deste trabalho, e além disso, exigiria um equipamento instalado na empresa, mesmo que de pequeno porte, para operação diária do sistema.

Entretanto, é possível demonstrar a eficácia do algoritmo com dados reais, desde que se suponha que todas as máquinas estejam disponíveis para alocação, a partir de uma certa data.

A Tabela 7 mostra um sub-conjunto das Reservas de Tecido existentes à época, para sequenciação nos teares a partir do dia 23/07/77, bem como o tempo de transporte entre a fábrica e o cliente, a ser deduzido da data-de-entrega do pedido.

Na Tabela 8, encontra-se representada a evolução da penalidade a ser minimizada, para uma alocação de 25 teares largos aos tecidos estreitos, bem como as modificações introduzidas na sequência original, a cada iteração. Finalmente, nas Tabelas 9 e 9.a encontram-se a sequenciação dos tecidos largos e estreitos, respectivamente, para a alocação citada, (25 teares largos a tecidos estreitos) e ainda os tempos de processamento e os atrasos na execução de cada job.

PEDIDO	PRAZOS	ARTIGO				RESERVA						
		Nº	CODIGO	ENTREGA	FATURAM.	TRANS. (dias)	COGIDO	T	L	BCM	%EFT	%SEG
1	68	31/07/77	31/07/77	2	12556	2	1	29	80	10	550	34100,00
2	68	31/07/77	31/07/77	2	12859	0	1	28	91	8	650	38545,00
3	67	31/07/77	31/07/77	2	8902	2	1	25	82	10	600	35340,00
4	67	31/07/77	31/07/77	2	6201	1	1	27	90	8	500	26900,00
5	25	31/07/77	31/07/77	2	12556	2	1	29	80	10	600	37200,00
6	71	31/07/77	31/07/77	2	12861	0	1	31	94	8	900	53460,00
7	75	31/07/77	31/07/77	2	12866	0	1	24	93	8	850	50320,00
8	127	31/07/77	31/07/77	2	21001	2	1	21	79	10	400	24160,00
9	127	31/07/77	31/07/77	2	21002	2	1	21	74	10	400	24160,00
10	47	30/07/77	31/07/77	3	12860	0	1	28	91	8	1200	142320,00
11	44	30/07/77	31/07/77	3	12860	0	1	29	91	8	1200	78960,00
12	41	30/07/77	31/07/77	3	3103	2	1	28	82	10	2150	130075,00
13	99	30/07/77	31/07/77	3	12860	0	1	28	82	8	1000	59300,00
14	172	31/07/77	31/07/77	2	12860	0	1	28	89	8	500	25800,00
15	111	31/07/77	31/07/77	2	12821	0	1	28	91	8	100	5930,00
16	102	11/07/77	31/07/77	2	6237	1	1	27	84	8	3300	181500,00
17	103	31/07/77	31/07/77	3	6236	1	1	27	76	8	3100	170500,00
18	186	31/07/77	31/07/77	3	12866	1	1	24	90	8	1050	51660,00
19	39	31/07/77	31/07/77	2	6201	0	1	31	94	8	3600	213120,00
20	113	31/07/77	31/07/77	3	12861	0	1	31	94	8	2000	110000,00
21	196	31/07/77	31/07/77	2	12861	0	1	27	94	8	1200	71280,00
22	190	31/07/77	31/07/77	2	6201	1	1	27	90	8	500	28700,00
23	197	31/07/77	31/07/77	2	3231	2	1	29	80	10	500	30250,00
24	114	31/07/77	31/07/77	2	12862	1	1	31	94	8	200	11860,00
25	114	31/07/77	31/07/77	3	6240	1	1	27	77	6	750	18750,00
26	136	31/07/77	31/07/77	3	18002	2	1	23	70	6	4500	17400,00
27	37	31/07/77	31/07/77	7	18004	2	1	21	85	10	2100	47040,00
28	127	31/07/77	31/07/77	3	18006	2	1	29	74	6	2100	47040,00
29	127	31/07/77	31/07/77	3	18006	2	1	21	81	10	1500	90600,00
30	129	15/07/77	31/07/77	3	21002	2	1	30	74	6	2200	51040,00
31	222	31/07/77	31/07/77	2	1110	2	0	29	85	6	2600	60320,00
32	222	31/07/77	31/07/77	2	18005	2	0	28	91	8	160	6080,00
33	116	25/07/77	31/07/77	7	12860	0	1	30	80	6	2000	41040,00
34	126	31/07/77	31/07/77	3	1103	2	0	29	70	6	2000	292810,00
35	128	15/07/77	31/07/77	3	3201	2	1	29	80	10	4700	56100,00
36	222	31/07/77	31/07/77	2	6112	1	1	21	88	8	1000	27840,00
37	222	31/07/77	31/07/77	2	18006	2	1	29	79	6	1200	27840,00
38	25	31/07/77	31/07/77	5	21001	2	0	21	85	10	1500	90600,00
39	120	31/07/77	31/07/77	3	18001	2	0	29	85	6	15000	225000,00
40	118	25/07/77	31/07/77	7	18005	2	0	28	85	8	160	225000,00
41	131	30/07/77	31/07/77	3	12815	2	1	21	90	6	1500	6080,00
42	131	30/07/77	31/07/77	3	3130	2	0	21	85	6	1500	36750,00
43	131	30/07/77	31/07/77	3	8330	2	0	20	85	6	1000	24000,00
44	70	30/07/77	31/07/77	3	21002	2	1	21	74	10	2000	90000,00
45	217	15/07/77	31/07/77	3	6201	1	1	27	82	8	1000	53800,00
46	125	31/07/77	31/07/77	3	6201	1	1	24	90	8	150	10830,00
47	178	31/07/77	31/07/77	3	6201	1	1	27	90	8	1200	58800,00
48	226	31/07/77	31/07/77	3	12853	0	1	28	91	8	1300	65780,00

TABELA 7 - RESERVAS DE TECIDOS

ETAPA	PASSOS DO ALGORÍTMO	PENALIDADE (CR\$)	SEQUÊNCIA, CONFORME TABELA 7
S E Q U E N C I A Ç Ã O	PASSO 0: SEQ. ORIGINAL CEM. TAB. 7		01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 28 30 33 35 36 41 44 45 46 47 48
	T PASSO 1: SEQ. ASCENDENTE PE C LA d; I	191.497,03	16 35 30 45 41 33 28 19 38 10 12 44 11 13 25 17 20 48 47 46 21 36 6 18 7 2 5 3 1 23 22 4 14 9 8 24 15
	D PASSO 2: TEN O TATIVA DE RĒ S DUÇÃO PARA HODGSON'S L MODIF.	133.431,10	30 28 19 38 10 12 44 11 13 25 20 48 47 46 21 36 6 18 7 2 5 3 1 23 22 4 14 9 8 24 15 17 45 33 41 16 35
	A PASSO 3: REDU G ÇÕES SUCESSI O VAS - ITER. 1 S	127.997,03	30 19 28 38 10 12 44 11 13 25 20 48 47 46 21 36 6 18 7 2 5 3 1 23 22 4 14 9 8 24 15 45 33 41 16 35 17
	PASSO 3: REDU ÇÕES SUCESSI VAS - ITER. 2	127.985,21	30 19 28 38 10 12 44 11 13 25 20 48 47 46 36 6 18 7 2 5 3 1 23 22 4 14 9 8 24 15 45 21 33 41 16 35 17
	REDUÇÃO OBTI DA PARA TECI DOS LARGOS	63.511,82 ou 33%	
S E Q U E N C I A Ç Ã O	T PASSO 0: SEQ. ORIGINAL CEM. TAB. 7		26 27 29 31 32 34 37 39 40 42 43
	I PASSO 1: SEQ. ASCEND. PARA S d; j	81.735,03	40 42 43 39 29 34 26 27 32 31 37
	E PASSO 2: TEN S TATIVA DE RĒ T DUÇÃO PARA R HODSON'S MODIF.	49.408,69	42 43 29 43 26 27 32 31 37 39 40
	E PASSO 3: REDU I ÇÕES SUCESSI T VAS - ITER. 1 S	49.408,69	42 43 29 34 26 27 32 31 37 39 40
		REDUÇÃO OBTI DA PARA TECI DOS ESTREITOS	32.326,34 ou 39%

TEARES ALOCADOS

AOS TECIDOS LARGOS = 55 DE 220 cm E 34 DE 190 cm

AOS TECIDOS ESTREITOS = 25 DE 220 cm E 0 DE 190 cm

TABELA 8 - EVOLUÇÃO DA PENALIDADE

SEQUENCIAÇÃO DOS PEDIDOS: - LARGO = 1.50 - DATA INICIAL = 570 - PERALTO = 127985.21
TAREAS ALOCADAS = 35 DE 2120 E 34 DE 1.93

PEIDID	ARTIGO	QUANTIDADE	VALOR	TI	DATA1	DATA2	TEMPOROS	ATAZOC(DIAS)	DATA ACUM.
129	21002	1,500	\$90,600,000	3	5/8	5/4	4,446	12,1811	570,1810659
39	12866	3,600	\$213,120,000	7	5/0	5/0	9,427	0,5676	570,5676492
37	21002	4,500	\$247,500,000	7	5/0	5/0	13,037	1,1108	571,1108468
25	21001	1,500	\$90,600,000	5	5/2	5/2	4,071	0,0000	571,2804528
47	12859	2,400	\$142,320,000	3	5/3	5/4	7,375	0,0000	571,5877370
41	3103	2,150	\$130,075,000	3	5/3	5/4	7,762	0,0000	571,9111670
70	21002	2,000	\$90,600,000	3	5/3	5/4	5,794	0,0000	572,1525882
44	12860	1,200	\$79,960,000	3	5/3	5/4	3,687	0,0000	572,3062303
99	12860	1,000	\$59,300,000	3	5/3	5/4	3,073	0,0000	572,4342654
114	6240	3,200	\$181,500,000	3	5/4	5/4	11,555	0,0000	572,9157688
113	12861	2,000	\$107,000,000	3	5/4	5/4	6,587	0,0000	573,1302270
226	12953	1,300	\$65,760,000	3	5/4	5/4	3,995	0,0000	573,3566726
174	6201	1,200	\$54,000,000	3	5/4	5/4	3,595	0,0000	573,5064737
125	6102	150	\$10,950,000	3	5/4	5/4	0,438	0,0000	573,5247421
222	6112	1,000	\$50,100,000	2	5/5	5/5	2,383	0,0000	573,6240421
71	12861	900	\$53,460,000	2	5/5	5/5	2,964	0,0000	573,7475483
166	6201	1,200	\$51,660,000	2	5/5	5/5	3,146	0,0000	573,8786242
75	12866	950	\$59,320,000	2	5/5	5/5	2,191	0,0000	573,9299008
68	12859	650	\$39,240,000	2	5/5	5/5	1,997	0,0000	574,0531435
25	12556	600	\$37,200,000	2	5/5	5/5	1,422	0,0000	574,1056397
67	6902	600	\$32,340,000	2	5/5	5/5	1,067	0,0000	574,2234496
68	12556	550	\$34,100,000	2	5/5	5/5	2,035	0,0000	574,3082560
197	3231	500	\$30,250,000	2	5/5	5/5	1,050	0,0000	574,3853527
190	6201	500	\$28,700,000	2	5/5	5/5	1,498	0,0000	574,4477698
67	6201	500	\$26,900,000	2	5/5	5/5	1,498	0,0000	574,5101869
172	12821	500	\$25,900,000	2	5/5	5/5	1,571	0,0000	574,5755430
127	21002	400	\$24,160,000	2	5/5	5/5	1,159	0,0000	574,6239273
127	21001	400	\$24,160,000	2	5/5	5/5	1,085	0,0000	574,6691555
117	12868	100	\$9,950,000	2	5/5	5/5	0,859	0,0000	574,6966013
117	12868	100	\$9,950,000	2	5/5	5/5	0,307	0,0000	574,7094099
217	6201	1,000	\$53,000,000	2	5/3	5/5	2,996	15,8342	574,8342391
196	12861	1,200	\$1,280,000	2	5/3	5/5	3,952	0,0000	574,9989140
116	12861	100	\$9,950,000	7	5/4	5/0	0,492	11,0194	575,0193996
119	12915	100	\$9,950,000	7	5/4	5/0	0,497	11,0401	575,0301129
102	6237	3,500	\$18,150,000	3	5/4	5/4	10,593	21,4815	575,4814910
128	3201	4,700	\$29,200,000	3	5/3	5/4	17,393	18,2062	576,2061999
103	6230	3,100	\$15,000,000	3	5/4	5/4	10,999	2,6645	576,6644729

TOTALS: 37 50,720 \$2,855,922,000

TABELA 9

SEQUENCIACAO DOS PEDIDOS DE LEMBAE (V.V.) DATA INICIAL = 570 PERIODO = 49408.69

TEARES ALOCADOS = 62 DE 2.23 E 0 DE 1.23

PEDIDO	ARTIG	QUANTID(4)	VALOR	TI	DATA1	DATA2	TEMPO(HRS)	ATRAZADOIAS)	DATA ACUM.
131	3130	12500	\$39,750.00	3	5/3	574	6,571	0.0000	570.2737797
131	8330	10000	\$24,000.00	3	5/3	574	4,172	0.0000	570.4476081
127	18006	20000	\$17,000.00	3	5/4	574	13,331	0.0000	571.0030542
126	1103	20000	\$11,000.00	3	5/4	574	15,198	0.0000	571.6362963
136	10002	750	\$18,750.00	3	5/4	574	4,369	0.0000	571.8183405
136	18004	750	\$17,400.00	3	5/4	574	4,537	0.0000	572.0073788
222	18005	20000	\$60,320.00	2	5/5	575	15,728	0.0000	572.6627119
222	1110	20000	\$51,000.00	2	5/5	575	16,717	0.0000	573.3592671
222	18006	10000	\$27,940.00	2	5/5	575	7,918	0.0000	573.6766649
120	18001	150000	\$225,000.00	3	5/4	574	30,738	0.0000	577.4574325
122	18005	150000	\$225,000.00	3	5/4	574	30,738	0.0000	577.4574325
TOTALS :	11	494100	5774,180.00				90,738	11,2382	581,2382001

TABELA 9.a.

CAPÍTULO V

PROGRAMAÇÃO DO TINGIMENTO

5.1. PROCESSOS DE TINGIMENTO

Hã 4 processos de tingimento, a saber:

PROCESSO 1:

Tinge sã PES/TEXT (100% poliester), e ocupa os equipamentos ã razão de 6 rolos/dia¹ (HT), para tingimento, e 8 rolos/dia (JG) para lavagem e secagem.

PROCESSO 2:

Tinge qualquer tipo de PES/CV (poliester com viscose) e PES/CO (poliester com algodã), e ocupa os equipamentos ã razão de 6 rolos/dia (HT), para tingimento do poliester; e 4 rolos/dia (JG)

(1) O tamanho dos rolos é limitado ã capacidade em peso do equipamento. Cada rolo contém em média 126 kg de tecido. Logo, o comprimto de cada rolo depende da densidade (GML = gramas por metro linear) dos tecidos.

para tingimento da celulose (algodão ou viscose), fixação e lavagem.

PROCESSO 3:

Tinge qualquer tipo de PES/CV e PES/CO, e ocupa os equipamentos à razão de 5 rolos/dia (HT), para tingimento e 6 rolos/dia (JG) para fixação e lavagem.

PROCESSO 4:

Tinge PES/CV e PES/CO, desde que a porcentagem de celulose (C) ou CV) no tecido seja no mínimo 20% (cores claras), e 30% (cores médias e escuras). Cores muito escuras (marinho e preto) nem sempre podem ser tingidas por este processo. Ocupa o equipamento chamado TERMOSOL, à razão de 8 horas de preparação (set-up), e 20 metros/min para tingimento e secagem.

O TERMOSOL é um processo anti-econômico para pequenos comprimentos, sendo utilizado apenas para tingir lotes de mais de 1000 metros, uma vez que o tempo de preparação da máquina (set-up) é de 8 horas, e o processo demanda uma carga de corantes muito grande, somente compatível com grandes comprimentos.

CAPACIDADES DOS EQUIPAMENTOS :

Os equipamentos de tingimento têm as seguintes capacidades:

- Turbos "High - Temperature" (HT)
- HT1 - 120 kg/carga
- HT2 - 100 kg/carga
- HT3 - 90 kg/carga
- HT4 - 100 kg/carga
- HT5 - 150 kg/carga
- HT6 - 200 kg/carga
- Capacidade total = 760 kg/carga
- Capacidade média = 126 kg/carga

- "Jigger" (JG)
- Capacidades superiores às dos HT, permanecendo os rolos inalterados. Atualmente existem 8 JG's na empresa.

5.2. "SCHEDULING" (ESCALAÇÃO)

Diariamente, são colecionadas ordens de produção para o setor de tingimento, de modo que ao início de cada dia de trabalho, tem-se um conjunto de rolos que devem ser tingidos.

Seja $K = \{1, 2, \dots, u\}$ o conjunto dos índices dos rolos disponíveis para tingimento.

Assumindo tempos de processamento conhecidos para cada ordem de tingimento, o problema se resume a "como e em que sequência, deve-se escalar m tarefas com tempos de processamento t_{j1} e t_{j2} ($j \in K$), num processo serial, com 6 máquinas paralelas no primeiro estágio, e 8 máquinas paralelas no segundo estágio, de forma a minimizar o tempo total decorrido (makespan)?"

Para todos os pedidos assume-se tempos de chegada nulos e nenhuma data-marcada (due-dates).

Este tipo de problema ainda não foi resolvido, ao menos na bibliografia consultada, de modo que sua solução pode ser considerada fora dos limites de uma tese de mestrado. No Capítulo VI, o problema é sugerido para pesquisas posteriores.

No entanto, para o problema de sequenciação em duas máquinas em série (flow-shop), existe um algoritmo devido a Johnson, que pode ser considerado um bom heurístico para o problema de processadores paralelos. Uma aplicação do algoritmo é apresentada em 5.3.2. A Figura 7 descreve os passos do algoritmo de Johnson, como inicialmente formulado, bem como as modificações introduzidas para sua adaptação ao problema em estudo.

FORMULAÇÃO ORIGINAL

Sejam t_{j1} e t_{j2} os tempos de processamento do rolo j , respectivamente nas máquinas 1 e 2.

Passo 1: Sejam $U = \{j | t_{j1} < t_{j2}\}$ e $V = \{j | t_{j1} \geq t_{j2}\}$.

Passo 2: Classificar os elementos do conjunto U em ordem não decrescente de t_{j1} , e os do conjunto V em ordem não crescente de t_{j2} . As coincidências podem ser resolvidas arbitrariamente (1).

Passo 3: A sequência que minimiza M (makespan) é o conjunto U seguido pelo conjunto V (2).

ADAPTAÇÕES

- (1) Para o caso de vários processadores paralelos nos dois estágios, as coincidências em U podem ser resolvidos pela sequenciação LPT (t_{j2}) - "longest processing time", e as coincidências em V , pela sequenciação SPT (t_{j1}) - "shortest processing time".
- (2) Para o caso de processadores paralelos, a sequência pode não ser ótima. A eficiência do Heurístico (para este caso), deve ser investigado mais a fundo por interessados.

Figura 7 - ALGORÍTMO DE JOHNSON

5.3. ALGUNS RESULTADOS PRÁTICOS

5.3.1. Alocação dos Processos de Tingimento

Um resultado facilmente alcançado, consiste em, dados 3 processos de tingimento, com velocidade diferentes, encontrar a combinação de processos que possibilita a máxima produtividade do setor, em um dia de operações.

Este problema pode ser formulado como segue:

$$\max j_1 + j_2 + j_3$$

$$\frac{j_1}{v_1^H} + \frac{j_2}{v_2^H} + \frac{j_3}{v_3^H} \leq n^H$$

$$\frac{j_1}{v_1^J} + \frac{j_2}{v_2^J} + \frac{j_3}{v_3^J} \leq n^J$$

$$j_1 \geq k_1$$

$$j_2 + j_3 \geq k_2$$

$$j_1, j_2, j_3 \geq 0, \text{ inteiros}$$

Onde:

j_i [##] = A quantidade de cargas (rolos) a serem tingidas pelo processo i ($i = 1, 2, 3$). Considera-se a unidade "carga" como correspondendo à capacidade média dos equipamentos HT, ou seja, 126 kg de tecido cru.

k_1 [##] = A quantidade mínima de cargas de tecido texturizado (processo 1) disponível para tingimento².

k_2 [##] = A soma das quantidades mínimas de cargas de tecidos combinados (com viscose e com algodão) disponíveis para tingimento³.

(2) e (3) Considerar cada rolo com a capacidade igual à média das capacidades do HT's, ou seja, rolos de 126 kg.

Atualmente, os parâmetros fixos valem;

$$\begin{array}{lll} v_1^H = 6 & v_2^H = 6 & v_3^H = 5 \\ v_1^J = 8 & v_2^J = 4 & v_3^J = 6 \\ n^H = 6 & n^J = 8 & \end{array}$$

Substituindo os parâmetros conhecidos, e reduzidos à "standard-form":

$$\max w = y_1 + y_2 + y_3$$

$$\frac{y_1}{6} + \frac{y_2}{6} + \frac{y_3}{5} + y_4 = 6$$

$$\frac{y_1}{8} + \frac{y_2}{4} + \frac{y_3}{6} + y_5 = 8$$

$$y_1 - y_6 + y_6^a = k_1$$

$$y_2 + y_3 - y_7 + y_7^a = k_2$$

y_1, y_2, y_3 inteiras.

A função objetivo artificial (II Phase Method) é:

$$z^* = y_6^a + y_7^a = k_1 + k_2 - y_1 - y_2 - y_3 + y_6 + y_7$$

A Tabela 10 apresenta a solução manual, para $k_1 = 10$ e $k_2 = 20$.

Do tableau, concluímos que, com a configuração atual de equipamentos (6 HT e 8 JG's), e para a demanda dada, os tecidos tipo combinado (viscose e algodão), seriam tingidos pelo processo 2, pois $y_2^* = 20$ e $y_3^* = 0$ na solução ótima.

O fato de, na solução ótima, $y_1^* > k_1$ e $y_2^* + y_3^* = k_2$, significa apenas que o tecido texturizado é mais rápido de tingir que os tecidos mistos, o que já era conhecido, pois $v_1^H > v_2^H, v_3^H$ e $v_1^J > v_2^J, v_3^J$.

	1	2	3	4	5	6	6 ^a	7	7 ^a	d _i
4	1/6	1/6	1/5	1	0	0	0	0	0	6
5	1/8	1/4	1/6	0	1	0	0	0	0	8
6 ^a	1	0	0	0	0	-1	1	0	0	10
7 ^a	0	1	1	0	0	0	0	-1	1	20
z*	1	1	1	0	0	-1	0	-1	0	30
z	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1/6	1/5	1	0	1/6	-1/6	0	0	4,33
5	0	1/4	1/6	0	1	1/8	-1/8	0	0	6,75
1	1	0	0	0	0	-1	1	0	0	10
7 ^a	0	1	1	0	0	0	0	-1	1	20
z*	0	1	1	0	0	0	-1	-1	0	20
z	0	-1	-1	0	0	-1	1	0	0	10
4	0	0	0,03	1	0	1/6	-1/6	1/6	-1/6	1
5	0	0	-0,08	0	1	1/8	-1/8	1/4	-1/4	1,75
1	1	0	0	0	0	-1	1	0	0	10
2	0	1	1	0	0	0	0	-1	1	20
z*	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0
z	0	0	0	0	0	-1	1	-1	1	30
6	0	0	0,18	6	0	1		1		6
5	0	0	-0,1	-0,75	1	0		1/8		1
1	1	0	0,18	6	0	0		1		16
2	9	1	1	0	0	0		-1		20
z	0	0	0,18	6	0	0		0		36

I PHASE
II PHASE
optimal

VALORES ÓTIMOS:

$y_1^* = 16$	$y_4^* = 0$
$y_2^* = 20$	$y_5^* = 1$
$y_3^* = 0$	$y_6^* = 6$
	$y_7^* = 0$

Tabela 10 - TABLEAU DO PROBLEMA DE SELEÇÃO DE PROCESSOS

5.3.2. Scheduling do Setor Tingimento - Uma Aplicação

Seja o problema de programar o tingimento de um lote de 30 rolos de tecidos representados na Tabela 11.

O conjunto de rolos $t_{j1} > t_{j2}$ é:

$$U = \{ 11, 12, 13, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 \}$$

Seu complemento, o conjunto de job's cuja $t_{j2} \geq t_{j1}$ é:

$$V = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17 \}$$

Ordenando os job's pela regra de Johnson, da Figura 7, obtem-se⁴:

$$U_{ORD} \equiv U$$

$$V_{ORD} = \{ 14, 15, 16, 17, 1, 2, 3, \dots, 10 \} \neq V$$

Uma vez obtidas as ordenações acima, basta alocar os rolos um a um, na ordem, à máquina que apresentar o primeiro tempo livre. A Figura 8 ilustra as alocações sucessivas.

(4) O critério de sequenciação pode ser simplificado, para a empresa em estudo, uma vez que só há, a priori, 3 tipos de processos de tingimento. Assim, o critério de sequenciação pode ser resumido a "alocar primeiro os rolos que serão tingidos, pelo processo 2, a seguir os do processo 3, e finalmente os do processo 1".

j	TIPO	PROCESSO	t_{j1} (HRS)	t_{j2} (HRS)	.	ORDEM
1	T	I	4	3	V	21
2	T	I	4	3	V	22
3	T	I	4	3	V	23
4	T	I	4	3	V	24
5	T	I	4	3	V	25
6	T	I	4	3	V	26
7	T	I	4	3	V	27
8	T	I	4	3	V	28
9	T	I	4	3	V	29
10	T	I	4	3	V	30
11	V	II	4	6	U	1
12	V	II	4	6	U	2
13	V	II	4	6	U	3
14	V	III	5	4	V	17
15	V	III	5	4	V	18
16	V	III	5	4	V	19
17	V	III	5	4	V	20
18	A	II	4	6	U	4
19	A	II	4	6	U	5
20	A	II	4	6	U	6
21	A	II	4	6	U	7
22	A	II	4	6	U	8
23	A	II	4	6	U	9
24	A	II	4	6	U	10
25	A	II	4	6	U	11
26	A	II	4	6	U	12
27	A	II	4	6	U	13
28	A	II	4	6	U	14
29	A	II	4	6	U	15
30	A	II	4	6	U	16

T = POLIESTER TEXTEURIZADO

V = POLIESTER COM VISCOSE

A = POLIESTER COM ALGODÃO

Tabela 11 - CONJUNTO DE JOB'S (ROLOS)

b. SEM OCUPAÇÃO INICIAL

I ESTÁGIO

m_1^I	11	21	27	16	7					
m_1^{II}	12	22	28	17	8					
m_1^{III}	13	23	29	1	5					
m_1^{IV}	18	24	30	2	6					
m_1^V	19	25	14	3	9					
m_1^{VI}	20	26	15	4	10					

II ESTÁGIO

m_2^I			11		23	14	3			
m_2^{II}			12		24	15	4			
m_2^{III}			13		25		16	7		
m_2^{IV}			18		26		17	8		
m_2^V			19		27		1	9		
m_2^{VI}			20		28		2	10		
m_2^{VII}				21		29	5			
m_2^{VIII}				22		30	6			

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

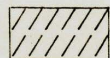
 = TEMPO OCIOSO

Figura 8.b - PROGRAMAÇÃO DO TINGIMENTO

CAPÍTULO VI

CONCLUSÃO

6.1. SOBRE O CAPÍTULO II

O método simplex, originalmente desenvolvido por G.B.Dantzig, tem sido largamente utilizado para a solução de modelos de programação linear semelhante ao apresentado, dada a importância das conclusões que se podem extrair da solução do modelo.

Em primeiro lugar, a solução final apresentou um lucro líquido teórico de até 20% sobre um faturamento de CR\$ 18.300.000,00, nas condições modeladas. Este percentual é superior aos resultados obtidos pela empresa até então. Evidentemente, um resultado da ordem de 20%, como o do modelo, só será possível se as previsões de comportamento do mercado se confirmarem, ou seja, se as vendas se situarem dentro dos limites máximo e mínimo estipulados, e se os preços de venda propostos no catálogo forem atraentes aos clientes.

Uma segunda conclusão diz respeito à análise de sensibilidade em relação à capacidade produtiva, ou seja, os termos constantes das primeiras três equações de restrição, conforme comentado

no ítem 7 do II Capítulo, no qual avaliou-se o lucro bruto marginal - variação do valor da função objetiva, em Cr\$ 118.000,00 para um tear adicional (de 200 rpm) adquirido. Esta informação servirá de subsídio à decisão de adquirir ou não teares adicionais.

Quanto aos lucros unitários - coeficientes da função objetiva -, a análise de sensibilidade em relação a variações dos mesmos permitirá estimar as contribuições trazidas à função objetiva por modificações introduzidas nos preços de venda. Concluimos, em II 7 que tais contribuições têm, para cada tecido, um valor relativo em cruzeiros igual ao valor da variável correspondente na solução ótima (em metros). Assim, para as variações básicas, a função objetiva se altera, o mesmo não ocorrendo para as não básicas.

Quanto aos limites de variação permitidos a cada coeficiente de modo a manter a solução básica final na condição de otimalidade, foram também determinados no Capítulo 2.

Finalmente, dado o horizonte trimestral com que são tomadas as decisões de planejamento da produção a médio prazo, o programa de computador desenvolvido para o problema deveria ser utilizado mensalmente, reavaliando os planos de produção a cada final de mês. A documentação apresentada no Anexo 1 será suficiente para que os administradores e técnicos da empresa de utilizem do mesmo sempre que o desejarem.

Em termos de eficiência computacional, caberia uma sugestão com relação ao tratamento dedicado aos limites superiores de mercado. Na implementação do modelo, cada limite compõe uma inequação do tipo $x_j \leq l_j^2$. Uma abordagem envolvendo consideravelmente menos consumo de memória do computador encontra-se na referência 9, Capítulo 10, título "Variables Bounded from Above". No entanto, o tempo gasto para resolver o modelo, composto por 50 tecidos, foi de apenas 40 segundos de processador B-6700, e não vemos outros motivos para a modificação sugerida, uma vez que a memória instalada do

equipamento também é suficiente.

6.2. SOBRE O CAPÍTULO III

Definido um programa viável ótimo de produção, isto é, definida uma solução $\bar{x}^B = B^{-1}D$ viável, interessa-nos determinar as margens percentuais de contribuição de cada tecido, em relação ao seu preço de venda. Esta análise indica quais são os tecidos que dão mais e menos lucro por unidade produzida, permitindo revisar individualmente os preços de venda de cada tecido e, de forma indireta, subsidiando a revisão da própria política de vendas da empresa.

Os parâmetros (também chamados "padroes") para rateio dos custos indiretos são, evidentemente, os coeficientes tecnológicos ($a_{1j} = a_{2j}$ e a_{3j}) das três primeiras restrições do modelo linear. Por este motivo, e lembrando que a solução final do simplex é um programa viável, o programa de análise de custos foi desenvolvido em conjunto, porém após a solução do modelo. O Anexo 1 descreve sua utilização, como "procedure" opcional do programa principal.

6.3. SOBRE O CAPÍTULO IV

Dêste Capítulo, a conclusão mais importante diz respeito ao critério de sequenciação da produção. O algoritmo trouxe resultados cuja penalidade total situa-se em 70% daquela obtida pela sequenciação usual (ordem ascendente de data-de-entrega), o que evidencia uma excelente oportunidade de redução dos custos financeiros da empresa. No entanto, pelo fato de termos sequenciado os pedidos considerando uma máquina única, hipotética, o algoritmo não pode ser usado na prática, porque na realidade não existe uma máquina única, mas sim 114 máquinas (teares) paralelas. Além disso, o algoritmo apresentou uma eficiência muito baixa no

computador¹.

6.4 SOBRE O CAPÍTULO V

Tratando de decisões diárias, e sabendo-se que a empresa em estudo não dispõe de computador, uma forte restrição orientou a abordagem do Capítulo V, qual seja a de que todos os métodos propostos deveriam ser facilmente resolvidos manualmente. Buscou-se, então, uma solução heurística, que apresentasse resultados satisfatórios e envolvesse poucos cálculos. O algoritmo de Johnson's adaptado devidamente ao problema, satisfaz às exigências de simplicidade. A eficiência do algoritmo, apesar de comprovada nos dois casos resolvidos (com e sem ocupação inicial dos equipamentos), deve ainda ser investigada mais a fundo, cabendo ainda alguma pesquisa adicional.

(1) Para sequenciar 50 pedidos, o heurístico utilizado tomou cerca de 160 segundos de processador B-6700.

ANEXO I - PROGRAMA ALGOL PARA PROGRAMAÇÃO LINEAR E ANÁLISE DE
CUSTOS

FUNÇÕES:

- a. Maximização da função objetiva lucro bruto, sujeito às restrições de capacidade produtiva e limites de mercado. O problema clássico da seleção do mix de produtos.
- b. Análise de custos unitários, rateando os custos indiretos pelos padrões de desempenho de cada tecido em cada centro de custos. Opcional.
- c. Análise de sensibilidade a variações nos termos independentes (capacidades produtivas e limites de mercado). Opcional.
- d. Análise de sensibilidade a variações nos coeficientes da função objetiva (lucros brutos unitários). Opcional.

DADOS TÉCNICOS:

Linguagem ALGOL-60, implementado no computador B-6700 da UFRGS, com 800 kb de memória principal; método simplex revisado; processamento direto na memória principal, sem utilização de memória auxiliar; problemas de médio porte ($m \times n < 64000$); precisão simples; para restrições do tipo \geq , utiliza o método "Big - M", com $BIGM = 100,000$; valores incorridos no intervalo $(-10^{-5}, +10^{-5})$ considerados nulos; inversão de matrizes pela "forma produto", e reinversão pelo método de Gauss a cada m (o número de equações) iterações; limites inferiores de mercado (restrições $k_j \geq b_i$) tratados por mudança de variável.

ENTRADA DE DADOS:

Via cartões perfurados, conforme lay-out's da Figura 9.

PROCEDIMENTOS:

A Figura 10 apresenta a descrição de cada "procedure" do programa, conforme a listagem do código fonte que se segue.

Quanto às saídas do programa, já foram apresentados nos Ca
pítulos II e III.

CARTÃO TIPO	COLUNA		NOME DA VARIÁVEL	FOR- MATO	DESCRIÇÃO
	INICIAL	FINAL			
1					CARTÃO-MESTRE. PARAMETROS DE CONTROLE.
	1	1	TIPCAR	I1	Tipo de cartão = "1"
	2	2	BSBI	L1	TRUE/FALSE para comandar a sensib. aos bi
	3	3	BSCJ	L1	TRUE/FALSE para comandar a sensib. aos Cj
	4	4	BCST	L1	TRUE/FALSE para comandar a análise de cus tos
	5	7	QDIAS	I3	Quantidade de dias produtivos do período
	8	9	QHDTE	I2	Carga horária diária do setor tecelagem
	10	11	QHDTI	I2	Carga horária diária do setor tinturaria
	12	14	RPM22Ø	I3	Velocidade média dos teares largos, em r.p.m.
	15	17	QT22Ø	I3	Quantidade de teares largos disponíveis
	18	2Ø	RPM19Ø	I3	Velocidade média dos teares estreitos, em r.p.m.
	21	23	QT19Ø	I3	Quantidade de teares estreitos disponíveis
	24	25	HVØ	I2	Velocidade de tingimento texturizado, em cargas/dia (HT)
	26	27	HV1	I2	Velocidade de tingimento viscosa, em car gas/dia (HT)
	28	29	HV2	I2	Velocidade de tingimento algodão, em car gas/dia (HT)
	30	34	HCAPT	I5	Capacidade de tingimento nos HT, em kg/ cargas. dia
	35	36	QTEC	I2	Quantidade de tecidos (cartões tipo 3)
	37	46	CFAD	F1Ø.2	Custo fixo administrativo do período. (Previsão)
	47	56	CITE	F1Ø.2	Custo indireto de tecelagem do período. (Previsão)
	57	66	CITI	F1Ø.2	Custo indireto de tinturaria do período. (Previsão)
	67	7Ø	PCVD	F4.2	% de custo variável de distribuição, so bre venda.
3					CARTÃO-TECIDO. PARAMETROS DOS TECIDOS
	1	1	TIPCAR	I1	Tipo do cartão = "3"
	2	7	TCOD	I6	Código do tecido
	8	8	TTIPO	I1	Tipo de pano: Ø = Poliéster texturizado 1 = Poliéster c/ viscosa 2 = Poliéster c/ algodão
	9	9	TLARG	I1	Largura do pano : Ø = Ø.9Ø metros 1 = 1.5Ø metros
	10	11	TBCM	I2	Batidas por cm, após o encolhimento
	12	14	TEFI	I3	Eficiência % do tecido nos teares
	15	17	TGML	I3	Densidade do tecido, em gr/m linear
	18	19	TSEG	I2	% de tecido de 2ª qualidade, na tecelagem
	20	21	TRET	I2	% de retorno por defeitos, no tingimento
	22	25	TCDU	F4.2	Custo-direto (matéria-prima) unitário
	26	30	TPVU	F5.2	Preço de venda unitário
	31	38	TLINF	I8	Limite inferior de mercado, em metros
	39	46	TLSUP	I8	Limite superior de mercado, em metros

FIGURA - LAY-OUT DOS CARTÕES DE ENTRADA PARA O
ALGORÍTMO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

NÍVEL LEXICOGRÁFICO	NOME DA PROCEDURE	DESCRIÇÃO
1	MAIN	Programa principal
2	REVSIMPLEX	Simplex-revisado. Minimiza uma função dada, estando o problema expresso na forma standard.
3	INVFROMINV	Inversão de matrizes pela forma produto
3	MULTVECTOR	Multiplicação de um array B $[m,n]$ bi-dimensional por um array A $[n]$, dando resultado C $[m]$
3	INVERMATRIX	Inversão de uma matriz bi-dimensional pelo método de Gauss
2	XOPTIMAL	Cálculo dos valores ótimos das variáveis do problema, a partir da última inversa da base.
2	COSTANAL	Análise de custos, e emissão do mapa de análise correspondente
2	SENSBI	Análise de sensibilidade a variações nos termos independentes, e emissão do relatório correspondente
2	SENSCJ	Análise de sensibilidade a variações nos coeficientes da função objetiva, e emissão do relatório correspondente
2	STDFORMLIST	Emissão de relatório para conferência da formulação do problema na forma-padrão

FIGURA 10- MAPA DAS PROCEDURES DO PROGRAMA LINEAR

P R O G 2

= = = = =

```

%
% PROGRAMA PARA SELECAO DO MIX-OTIMO DE
% PRODUCAO PARA O PERIODO, E ANALISE DOS
% CUSTOS E LUCRO MARGINAL BRUTO
% ALGORITMOS - SIMPLEX (PROG.LINEAR)
%          COEFS.DIFICULDADE (CUSTOS)
%
% AUTOR - MARCOS BLAITH
%          MESTRADO SISTEMAS -UFPB
%
%
% BEGIN
%
% FILE CARTAO (KIND=READER), LISTA (KIND=PRINTER);
%
% VARIAVEIS DO PROG.PRINCIPAL
%
% INTEGER TIPCAR, QDIAS, QMDTE, QHDTI, RPM220, QT220, RPM190, QT190,
%          HV0, HV1, HV2, HCAPT, QTEC, TBCM, TEFI, TGML, TRET, TSFG, COUNT,
%          CHA, QVAR, QEVS, J, K, QLEQ, QGEQ, L;
% REAL CFAD, CITE, CITI, PCVJ, PRECISAO, BIGM, VALOR, LUCRO, CDISTRI;
% INTEGER ARRAY TCDU, TTIPJ, TLARG, TLINF, TLSUP[1:100];
% INTEGER ARRAY TCDUAX[1:100];
% REAL ARRAY TCOF1, TCOF2, TCDU, TPVU[1:100];
% BOOLEAN BSBI, BSCJ, BCST;
% LABEL ERRO, ERRO3, MIXOUTPUT, FIMIX;
% REAL ARRAY A[1:100,1:250], % COEFCIS.DAS RESTRICCOES
%          C[1:250], % COEFCIS.DA F.O.
%          B[1:100], % TERMOS INDEPENDENTES
%          BINVER[1:100,1:100], % INVERSA DA CURRENT-BASIS
%          XOPT[1:100]; % VALORES OTIMOS
% INTEGER ARRAY BASIS[1:100], % CURRENT BASIC VARIABLES
%          NONBASIS[1:150], % CURRENT NON-BASIC VARIABLES
%          TIPOVAR[1:250]; % TIPO DE VARIAVEL
%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
% PROCEDURES DO PROGRAMA - DECLARACOES %
%XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
%
% REVSIMPLEX DECLARATION (SIMPLEX REVISADO)
% PROCEDURE REVSIMPLEX (A,C,R,BASIS,NONBASIS,M,N,BINVER,CHA,COUNT);
% REAL ARRAY A[1,1],C[1],B[1],BINVER[1,1];
% INTEGER ARRAY BASIS[1],NONBASIS[1];
% INTEGER M,N,COUNT,CHA;
% BEGIN
%
% INVFROMINV DECLARATION (INVERSAD PARCIAL,DADA A INVERSA)
% PROCEDURE INVFROMINV (BINVER,Y,N,PIVOT);
%
% REAL ARRAY BINVER[1,1],Y[1];
% INTEGER N,PIVOT;
% BEGIN
% INTEGER I,J;
%
% FOR I:=1 STEP 1 UNTIL N DO

```

```

FOR J:=1 STEP 1 UNTIL N DO
  IF I = PIVOT
    THEN BINVER[I,J]:=*-Y(I)*BINVER[PIVOT,J]/Y[PIVOT];
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL N DO
  BINVER[PIVOT,J]:=*/Y[PIVOT];
END INVERMINV;

```

```

%
% MULTVECTOR DECLARATION
PROCEDURE MULTVECTOR (A,B,C,M,N);
REAL ARRAY A[1], B[1,1], C[1];
INTEGER M,N;
BEGIN
  INTEGER I,K;

  FOR I:=1 STEP 1 UNTIL M DO
    BEGIN
      C[I]:=0;
      FOR K:=1 STEP 1 UNTIL N DO C[I]:=*+B[I,K]*A[K];
    END;
  END MULTVECTOR;

```

```

%
% INVERMATRIX DECLARATION - GAUSS METHOD
%
PROCEDURE INVERMATRIX (A,B,BOOLE,N);
REAL ARRAY A[1,1],      % ORIGINAL
          B[1,1];       % RECEPTURA
BOOLEAN BOOLE;          % TRUE = OK
                      % FALSE = INVERSAO NAO SUCEDIDA
INTEGER N;              % DIMENSÕES
BEGIN
  LABEL RETURNING,NEXTI;

```

```

  INTEGER LIN,COL,I,TEMPI;
  REAL ARRAY AUX[1:N,1:2*N];
  REAL TEMP;
  INTEGER ARRAY LINHAS[1:N];
% GERA A MATRIZ AUMENTADA
FOR LIN:=1 STEP 1 UNTIL N DO
  BEGIN
    LINHAS[LIN]:=LIN;
    FOR COL:=1 STEP 1 UNTIL N DO AUX[LIN,COL]:=A[LIN,COL];
    FOR COL:=N+1 STEP 1 UNTIL 2*N DO
      IF LIN=COL-N THEN AUX[LIN,COL]:=1
      ELSE AUX[LIN,COL]:=0;
    END;
% ORDENA AS LINHAS, DECRESCENTE DE VALOR DO PIVOT (MIN.ROUND-OFF ERRORS)
FOR LIN:=1 STEP 1 UNTIL N DO
  BEGIN
    FOR I:=LIN STEP 1 UNTIL N DO
      IF ABS(AUX[I,LIN]) > ABS(AUX[LIN,LIN])
      THEN BEGIN
        TEMPI:=LINHAS[LIN];
        LINHAS[LIN]:=LINHAS[I];
        LINHAS[I]:=TEMPI;
        FOR COL:=1 STEP 1 UNTIL 2*N DO
          BEGIN
            TEMP:=AUX[LIN,COL];
            AUX[LIN,COL]:=AUX[I,COL];
            AUX[I,COL]:=TEMP;
          END;
        END;

```



```

END;
% REALIZA A INVERSAO
FOR LIN:=1 STEP 1 UNTIL N DO
BEGIN
  IF AUX[LIN,LIN]=0
  THEN BEGIN
    BOOLE:=FALSE;
    GO TO RETURNING;
  END;
  IF AUX[LIN,LIN] /= 1
  THEN BEGIN
    TEMP:=AUX[LIN,LIN];
    FOR COL:=1 STEP 1 UNTIL 2*N DO
      AUX[LIN,COL]:=*/TEMP;
    END;
    FOR I:=1 STEP 1 UNTIL N DO
    BEGIN
      IF I=LIN THEN GO TO NEXTI;
      TEMP:=AUX[I,LIN];
      FOR COL:=1 STEP 1 UNTIL 2*N DO
        AUX[I,COL]:=**AUX[LIN,COL]*TEMP;
    NEXTI;
  END;
END;
% TRANSFERE A INVERSA PARA A RECEPTORA
FOR LIN:=1 STEP 1 UNTIL N DO
  FOR COL:=1 STEP 1 UNTIL N DO B[LIN,LINHAS[COL]]:=AUX[LIN,COL+N];
BOOLE:=TRUE;
RETURNING;
END INVERMATRIX;

```

```

%
% REVSIMPLEX BODY
BOOLEAN BOOL;
REAL ARRAY BINVER [1:M],
  Y[1:M],
  PI[1:M];
INTEGER LIN,COL,I,TEMP,J;
REAL MINZUMINCU,ZUMINCU,MINTETA,TETA;
LABEL RECALCINVER,RETURNREVSIMPLEX,CALCPI;
COUNT:=1;
% RECALCULA A INVERSA
RECALCINVER:
WRITE (LISTA,<"COUNT=",I6>,COUNT);
FOR LIN:=1 STEP 1 UNTIL M DO
  FOR COL:=1 STEP 1 UNTIL M DO
    BINVER[LIN,COL]:=A[LIN,BASIS[COL]];
  INVERMATRIX (BINVER,BINVER,BOOL,M);
  IF ~ BOOL
  THEN BEGIN
    CHA:=1;
    GO TO RETURNREVSIMPLEX;
  END;
% CALCULO VETOR PI[1:M]=CB[1:M]*BINVER[1:M,1:M]
CALCPI:
FOR COL:=1 STEP 1 UNTIL M DO
  BEGIN
    I:=COL;
    PI[I]:=0;
    FOR LIN:=1 STEP 1 UNTIL M DO
      PI[I]:=**CT[BASIS[LIN]]*BINVER[LIN,COL];
    END;
% CALCULO DOS Z(J)-C(J) E IDENTIF.DO + NEGATIVO

```

```

I:=0;
MINZJMNCJ:=0;
FOR LIN:=1 STEP 1 UNTIL (N-4) DO
BEGIN
  ZJMNCJ:=0;
  FOR COL:=1 STEP 1 UNTIL M DO
  ZJMNCJ:=**+PI[COL]*A[COL,NONBASIS[LIN]];
  ZJMNCJ:=**-C[NONBASIS[LIN]];
  IF ZJMNCJ<MINZJMNCJ
  THEN BEGIN
    MINZJMNCJ:=ZJMNCJ;
    I:=LIN
  END
END;
IF I=0 OR PRECISAD > ABS(MINZJMNCJ)
THEN BEGIN
  CHA:=0;
  GO TO RETURNREVSIMPLEX
END;
% X[NONBASIS[I]] ENTRARA NA BASE
% CALCULO DO VETOR Y[1:M]=BINVER[1:M,1:M]*A[1:M,NONBASIS[I]]
FOR LIN:=1 STEP 1 UNTIL M DO
BEGIN
  Y[LIN]:=0;
  FOR COL:=1 STEP 1 UNTIL M DO
  Y[LIN]:=**+BINVER[LIN,COL]*A[COL,NONBASIS[I]]
END;
% CALCULO DOS TETA[CJ] E IDENTIF.DO + POSITIVO
J:=0;
MINTETA:=1E60;
MULTVECTOR(B,BINVER,BINVERB,M,M);
FOR LIN:=1 STEP 1 UNTIL M DO
BEGIN
  IF Y[LIN] <= 0 THEN TETA:=1E60
  ELSE TETA:=BINVERB[LIN]/Y[LIN];
  IF TETA < MINTETA
  THEN BEGIN
    MINTETA:=TETA;
    J:=LIN
  END
END;
IF J=0
THEN BEGIN
  CHA:=2;
  GO TO RETURNREVSIMPLEX
END;
% X[BASIS[J]] SAIRA DA BASE
TEMP:=BASIS[J];
BASIS[J]:=NONBASIS[I];
NONBASIS[I]:=TEMP;
COUNT:=**+1;
IF COUNT MOD 4 = 0
THEN GO TO RECALCINVER
ELSE INVFROMINV (BINVER,Y,M,J);
GO TO CALCPI;
RETURNREVSIMPLEX;
END REVSIMPLEX;

%
% XOPTIMAL DECLARATION = VALORES OTIMOS DAS VARIAVEIS
PROCEDURE XOPTIMAL;
BEGIN
  INTEGER I,J;

```



```

      FATOR:=TCDF1C(J),CIUTE,TCDDU(J),TCDFP(J),CIUTI,0.C,CDUDI,CC,PLU);
      SMTFAT:=**+FATOR;
      SMTQTD:=**+XCPTC(J);
      SMTCST:=**+CC*XOPTC(J);
    END;
% TETAIS
  WRITE (LISTA[SKIP 1]);
  LUCROL:=SMTFAT-SMTCST;
  PVUMED:=SMTFAT/SMTQTD;
  CUMED:=SMTCST/SMTQTD;
  FOR J:=0 STEP 1 UNTIL 5 DO
    WRITE (LISTA,SWFTC(J),CASE J OF (QTEC,SMTFAT,SMTCST,LUCROL,
      PVUMED,CUMED));
  END COSTANAL;

```

```

% SENSEI DECLARATION
%

```

```

PROCEDURE SENSEI;

```

```

BEGIN

```

```

  INTEGER J,K;

```

```

  REAL LMARG,LISUP,LIINF;

```

```

  FORMAT F1 <"TEAR O L 1 [BAT]">,X8,R15.7,2R15.2>;

```

```

  FORMAT F2 <"TEAR LARG.1[BAT]">,X8,R15.7,2R15.2>;

```

```

  FORMAT F3 <"TURBO HT [RGG]">,X8,R15.7,2R15.2>;

```

```

  SWITCH FORMAT SWFX:=F1,F2,F3;

```

```

  FORMAT F4 <"MERCADO [M] ">,I6,X2,R15.7,2R15.2>;

```

```

  FORMAT F5 <"*",67("&"),"*">;

```

```

  FORMAT F6 <"TECELAGEM SPERR SA",I30,
    "SENSIBILIDADE AUS TERMOS INDEPENDENTES">;

```

```

  FORMAT F7 <" RESTRICAO ARTIGO LB.MARGINAL ",
    " MAX.VAR.SUP. MAX.VAR.INF. ">;

```

```

  SWITCH FORMAT SWFY:=F6,F5,F7,F5;

```

```

% PROCEDIMENTOS

```

```

  WRITE (LISTA[SKIP 1]);

```

```

  FOR J:=0 STEP 1 UNTIL 3 DO WRITE (LISTA,SWFY(J));

```

```

  FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QEQS DO

```

```

  BEGIN

```

```

    LMARG:=0;

```

```

    FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QEQS DO

```

```

      LMARG:=**+BINVER[K,J]*C[BASIS[K]];

```

```

    LISUP:=LIINF:=1000;

```

```

    FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QEQS DO

```

```

    BEGIN

```

```

      IF BINVER[K,J] < 0

```

```

      THEN LISUP:=MIN(LISUP,-XOPT[BASIS[K]]/BINVER[K,J]);

```

```

      IF -BINVER[K,J] < 0

```

```

      THEN LIINF:=MIN(LIINF,-XOPT[BASIS[K]]/(-BINVER[K,J]));

```

```

    END;

```

```

    IF J < 4

```

```

    THEN WRITE (LISTA,SWFX[J-1],LMARG,LISUP,LIINF)

```

```

    ELSE WRITE (LISTA,F4,TCODAU[J-3],LMARG,LISUP,LIINF);

```

```

  END;

```

```

END SENSEI;

```

```

%

```

```

% BSENSCJ DECLARATION

```

```

%

```

```

PROCEDURE BSENSCJ;

```

```

BEGIN
INTEGER J,K,L,M;

REAL LIMITE,ZJO;
FORMAT F1 <"TECELAGEM SPERR SA",T20,"SENSIBILIDADE AOS L.B.U.">;

FORMAT F2 <"*",B6("="),"*">;
FORMAT F3 <" INDICE TECID0          L.B.U.          LB.MARG.",
           " MAX.VARIACAO">;

SWITCH FORMAT SWFT:=F1,F2,F3,F2;
FORMAT FORMA <I6,I8,JR14.2>;
REAL ARRAY Y[1:QEQS,1:QVAR-QEQS];
WRITE (LISTA,SKIP 1);
FOR J:=0 STEP 1 UNTIL 3 DO WRITE (LISTA,SWFT[J]);
% CALCULO DA MATRIZ Y
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QVAR-QEQS DO
  FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QEQS DO
    BEGIN
      Y[K,J]:=0;
      FOR L:=1 STEP 1 UNTIL QEQS DO
        Y[K,J]:=**+BINVER[K,LT*ALL,NONBASIS[J]];
    END;
% VARIAVEIS BASICAS
WRITE (LISTA,<"VARIAVEIS BASICAS">);
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QEQS DO
  BEGIN
    LIMITE:=1000;
    FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QVAR-QEQS DO
      IF Y[K,J] - 0 < 0
        THEN BEGIN
          ZJO:=0;
          FOR L:=1 STEP 1 UNTIL QEQS DO ZJO:=**+C[BASIS[L]]*Y[L,J];
          LIMITE:=MIN(LIMITE,-(ZJO-C[NONBASIS[J]])/(Y[K,J]-0));
        END;
    M:=BASIS[K];
    WRITE(LISTA,FORMA,M,TCOD[M],XOPT[M],-LIMITE);
  END;
% VARIAVEIS NAO BASICAS
WRITE (LISTA,<"VARIAVEIS NAO BASICAS">);
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QVAR-QEQS DO
  BEGIN
    M:=NONBASIS[K];
    ZJO:=0;
    FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QEQS DO
      ZJO:=**+C[BASIS[J]]*Y[J,K];
    LIMITE:=ZJO-C[M];
    WRITE(LISTA,FORMA,M,TCOD[M],C[M],XOPT[M],LIMITE);
  END;
END SENSOCJ;

%
% STDFORMLIST DECLARATION
%
PROCEDURE STDFORMLIST (A,C,B,QEQS,TIPOVAR,QVAR,TCOD);
REAL ARRAY A[1,1];
REAL ARRAY C,B[1];
INTEGER ARRAY TIPOVAR[1];
INTEGER ARRAY TCOD[1];
INTEGER QEQS,QVAR;
BEGIN
  INTEGER K,J,CNT;

```

```

CONT:=1;
WRITE (LISTA,<"TABELLA DE VARIABEIS ",I,X5,
      " NO.VAR.   TECIDU   TIPO ">);

FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QVAR DO
  CASE TIPOVAR[K] OF
  BEGIN
    WRITE (LISTA,<2I10," PRINCIPAL">,K,TCCO[K]);
  BEGIN
    WRITE (LISTA,<I10,X10," FULGA + EQUACAO NO.",I3>,K,CONT);
    CONT:=**+1;
  END;
  BEGIN
    WRITE (LISTA,<I10,X10," FULGA - EQUACAO NO.",I3>,K,CONT);
    CONT:=**+1;
  END;
  WRITE (LISTA,<I10,X10," AUXILIAR EQUACAO NO.",I3>,K,CONT);
  END;
WRITE (LISTA(SKIP 1));
WRITE (LISTA,<"TABLEAU INICIAL ":"//,T40,"COEFICIENTES DAS VARIABESS",
      //,"REQ",10(X7,"X.",I1)," TERMO INDEP.",//,
      132("-")//,//>,FOR K:=0 STEP 1 UNTIL 9 DO K);

FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QEOS DO
  WRITE (LISTA,<I3,X11,*((10K+1.3//,X3)>>,K,(QVAR DIV 10 + 1),
    FOR J:=1 STEP 1 UNTIL MIN(QVAR,9) DO A[K,J],
    B[K]);FOR J:=J STEP 1 UNTIL QVAR DO A[K,J]);
  WRITE (LISTA,<"F38",X11,*((9K+1.2//,X3,R11.2)>>,(QVAR DIV 10 + 1),
    FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QVAR DO C[J]);
  WRITE (LISTA(SKIP 1));
END SJDFORMLIST;

```

ST

```

%*****%
% FIM DAS DECLARACOES DE PROCEDURES %
%*****%
%
% CORPO DO PROG.PRINCIPAL - ALIMENTACAO DOS DADOS
%
  READ (CARTAO,<I1,3C1,I3,2I2,4I3,3I2,I5,I2,3F10.2,F4.2>,
    TIPCAR,JSBI,BSBJ,BCST,QDIAS,QHDTI,QHDTI,RPM220,QT220,RPM190,
    QT190,HVC,HV1,HV2,HCAPT,QTEC,CFAD,CITE,CITI,PCVD);
  IF TIPCAR = 0 THEN GO TO ERRO0;
  FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QTEC DO
  BEGIN
    READ (CARTAO,<I1,16,2I1,I2,2I3,2I2,F4.2,F5.2,2I8>,
      TIPCAR,TCOD[J],TTIPO[J],TLARG[J],TBCM,TEFI,TGML,TSEG,TRET,
      TCOU[J],TPVU[J],TLINF[J],TLSUP[J]);
    IF TIPCAR = 3 THEN GO TO ERRO3;
    TIPOVAR[J]:=0;
    TCOF1[J]:=100*TBCM/(TEFI*(100-TSEG)/10000)/(2-TLARG[J]);
    TCOF2[J]:=TGML/(1000*(100-TRET)/100)/CASE TTIPO[J] OF (HVC,HV1,HV2);
  END;
% INICIALIZA CONTROLES
  PRECISAO:=10-5;
  BIGM:=100000;
%
% FURMLACAO EM STANDARD FORM
%
%
% TERMOS INDEPENDENTES B[I] F CALC.DO NUM.DE RESTRICOES
  B[1]:=60*(RPM220*QT220+RPM190*QT190)*QHDTI*QDIAS;   % CAPAC.TOTAL TEC.
  B[2]:=60*(RPM220*QT220)*QHDTI*QDIAS;                 % CAPAC.TEAR LARGOS

```



```

14," ITERACOES">>COUNT);

CASE CHA OF
BEGIN
  GO TO MIXOUTPUT;
  WRITE (LISTA,<"BASE SINGULAR - INVERSAO IMPOSSIVEL">);
  WRITE (LISTA,<"SOLUCAO ILIMITADA - ERRO PROVAVEL NOS DADOS">);

  END;
  GO TO FIMIX;
MIXOUTPUT:
  WRITE (LISTA,<"*",52("-"),"*",/,"INDICE TECIDJ      TVR      ",
          "QUANTID(4) FATURAMENTO LUCRO BRUTO"/,
          "*" ,52("-"),"*",/ >);

  XOPTIMAL;
  % MUDANCA DE VARIAVEIS - RETORNO A SITUACAO ORIGINAL
  FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QTEC DO
  BEGIN
    XOPT[K]:=**+TLINF[K];
    IF TLINF[K] = 0 THEN FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QEQS DO
      BCJ:=**+TLINF[K]*ACJ,K];
  END;
  K:=0;
  FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QVAR DO
  BEGIN
    WRITE (LISTA,<X2,I3,X2,I6,X6,I1,PII3,2P$F15.2>
          ,J,IF TIPOVAR[J]=0
            THEN [TCOD[J],0,XOPT[J],TPVU[J]*XOPT[J],C[J]*XOPT[J]]
            ELSE [0,TIPOVAR[J],XOPT[J],0.00,0.00]);
    IF TIPOVAR[J]=3 AND XOPT[J]=0
      THEN WRITE (LISTA,<"VARIAVEL AUXILIAR BASICA - SOLUCAO INVIAVEL">);

    IF TIPOVAR[J]=0
      THEN BEGIN
        VALOR:=**+TPVU[J]*XOPT[J];
        LUCRO:=**+C[J]*XOPT[J];
        CDISTRI:=**+PCVD*TPVU[J]*XOPT[J]/100;
      END;

    END;
    WRITE (LISTA[SKIP 1]);
    WRITE (LISTA,<" FATURAMENTO DO PERIODO = ",P$F16.2>>VALOR);
    WRITE (LISTA,<" LUCRO BRUTO DO PERIODO = ",P$F16.2>>LUCRO);
    WRITE (LISTA,<" CUSTO FIXO ADMINISTRAT.= ",P$F16.2>>CFAD);

    WRITE (LISTA,<" CUSTO INDIRETO TECEL. = ",P$F16.2>>CITE);
    WRITE (LISTA,<" CUSTO INDIRETO TINTUR. = ",P$F16.2>>CITI);
    WRITE (LISTA,<" CUSTO DE DISTRIBUICAO = ",P$F16.2>>CDISTRI);

    WRITE (LISTA,<" LUCRO LIQUIDO = ",P$F16.2>>
          LUCRO-CFAD-CITE-CITI-CDISTRI);
    WRITE (LISTA[SKIP 1]);
  %TESTA SE ANALISE DE CUSTOS
  IF BCST THEN COSTANAL;
  % TESTA SE SENSIBILIDADE AOS RI
  IF BSBI THEN SENSBI;
  % TESTA SE SENSIBILIDADE AOS CJ
  IF BSCJ THEN SENSCJ;
  GO TO FIMIX;
  %
  % ROTINAS DE ERRO
  %
  ERRO:

```



```
WRITE (LISTA, <<"FALTA CARTAO MESTRE - CANCELO">>);  
GO TO FIMIX;  
ERRC3:  
WRITE (LISTA, <<"CARTAO ESTRANHO - CANCELO">>);  
GO TO FIMIX;  
FIMIX:  
END.
```

```
=====
```

ERRORS DETECTED = 0.
SEGMENTS = 34. TOTAL SEGMENT SIZE = 2027 WORDS. CORE ESTIMATE = 4765 WORDS.
E = 598 CARDS, 3596 SYNTACTIC ITEMS, 139 DISK SEGMENTS.
E NAME: (00419000)PRCG2.
TIME = 57.492 SECONDS ELAPSED; 7.701 SECONDS PROCESSING; 9.332 SECONDS I/O

```
=====
```

ANEXO II - PROGRAMA ALGOL PARA SEQUENCIAÇÃO DAS RESERVAS
DE TECIDO NO SETOR TECELAGEM

FUNÇÕES:

Sequencia um lote de reservas de tecido a serem produzidas num dado período de tempo, no setor tecelagem. O critério de sequenciação é a minimização da penalidade total por atrasos de entrega dos job's aos clientes.

DADOS TÉCNICOS:

O lote de reservas pode conter tecidos largos e estreitos. A sequência inicial é a simples ordenação pela data-2/data-1, crescente, pelo método "shellsort". A segunda tentativa de redução da penalidade é feita pelo algoritmo de Hodgson, modificado conforme descrito no Capítulo III. A seguir, são feitas reduções sucessivas por um processo cujo número de iterações é limitado a 10, e ainda limitado a reduções mínimas de CR\$ 10,00 em cada iteração.

ENTRADA DE DADOS:

Via cartões perfurados, conforme lay-out's da Figura 11.

PROCEDIMENTOS:

A Figura 12 apresenta a descrição de cada "procedure" do programa, conforme a listagem do código-fonte que se segue. Quanto às saídas do programa, já foram apresentadas no Capítulo IV.

CARTÃO TIPO	COLUNA		NOME DA VARIÁVEL	FOR- MATO	DESCRIÇÃO
	INICIAL	FINAL			
∅					CARTÃO-MESTRE. PARAMETROS DE CONTROLE
	1	1	TIPCAR	I1	Tipo do cartão = "∅"
	2	4	QDIAS	I3	Quantidade de dias para o período
	5	6	DH	I2	Data-hoje (dia)
	7	8	MH	I2	Data-hoje (mês)
	9	10	AH	I2	Data-hoje (ano)
	11	13	TXB	F3.1	Taxa mensal de juros bancários
	14	16	TXE	F3.1	Taxa mensal de rendimento de capital
	17	18	QTEC	I2	Quantidade de cartões tipo 3 (tecidos)
	19	21	QPED	I3	Quantidade de cartões tipo 4 (pedidos)
	22	24	RPM22∅	I3	Velocidade média teares largos, em r.p.m.
	25	27	QT22∅	I3	Quantidade de teares largos
	28	30	RPM19∅	I3	Velocidade média teares estreitos, em r.p.m.
	31	33	QT19∅	I3	Quantidade de teares estreiros
3					CARTÃO-TECIDO. PARAMETROS DOS TECIDOS
	1	8∅			Mesmo lay-out descrito na Figura 8
4					CARTÃO-PEDIDO. PARAMETROS DOS PEDIDOS
	1	1	TIPCAR	I1	Tipo do cartão = "4"
	2	7	PCOD	I6	Código do pedido
	8	9	PD1D	I2	Data de entrega (dia)
	10	11	PD1M	I2	Data de entrega (mês)
	12	13	PD1A	I2	Data de entrega (ano)
	14	15	PD2D	I2	Vencimento do título (dia)
	16	17	PD2M	I2	Vencimento do título (mês)
	18	19	PD2A	I2	Vencimento do título (ano)
	20	21	PTR	I2	Tempo de transporte, em dias
	22	27	PTCOD	I6	Código do tecido pedido
	28	34	PQT	I7	Quantidade solicitada, em metros
	35	44	PVAL	F102	Valor do pedido

FIGURA 11 - LAY-OUT DOS CARTÕES DE ENTRADA DE DADOS
PARA O HEURÍSTICO DE SEQUENCIAÇÃO

NÍVEL LEXICOGRÁFICO	NOME DA PROCEDURE	DESCRIÇÃO
1	MAIN	Programa principal
2	ÍNDICE	Pesquisa binária sobre uma tabela ordenada de <u>c</u> ódigos de tecidos, do índice correspondente à <u>l</u> ocalização de um código dado.
2	DIAS	Conversão de uma data (d/m/a) para n ^o dias, ad <u>o</u> tando como referência inicial a data de 1/1/76.
2	SAISEQUENCE	Emissão de relatório apresentando uma dada sequê <u>n</u> cia, bem como a penalidade associada.
2	CALCPROTIME	Para uma dada alocação de teares, convertida a uma máquina única, <u>c</u> álcula os tempos de processamento dos job's nesta máquina.
2	FIRSTSEQ	Sequenciação inicial, em ordem ascendente de (da <u>t</u> a-2/data-1), pelo método Shellsort.
2	SEQUENCE	Redução da penalidade, por meio de um heurístico conveniente, descrito no Capítulo IV.
3	PENALTY	Cálculo da penalidade correspondente a uma sequen <u>ç</u> iação dada.
3	RESTAURA	Salvamento de uma sequê <u>n</u> ciação dada num array <u>a</u> uxiliar, para posterior restauração da situação original.
3	NEXTSEQ	Redução da penalidade pelo algoritmo de Hodgson, modificado conforme descrito na Figura 6.
3	IMPROVEMENT	Pesquisa qual a maior redução da penalidade que é possível obter pela troca dos job's i e j numa se <u>q</u> uenciação dada.

FIGURA 12 - MAPA DE PROCEDURES DO PROGRAMA DE SEQUENCIAÇÃO

P R O G 1

=====

```

%
% O PROGRAMA FAZ A PROGRAMACAO DA PRODUCAO
% (SEQUENCING AND SCHEDULING) DO SETOR TECELAGEM
% DA EMPRESA, DADOS OS PEDIDOS, OS PARAMETROS DOS
% PRODUTOS E OS RECURSOS DA PRODUCAO.

```

```

%
% AUTOR = MARCOS BLAUH
% MESTRADO EM SISTEMAS - UFPA
%

```

```

%
% BEGIN

```

```

% FILE CARTAO (KIND=READER), PRINT (KIND=PRINTER);

```

```

% VARIAVEIS DO PROGRAMA

```

```

%
% INTEGER J,K;
% INTEGER OT,CD;
% INTEGER TPCAR,DIAS,DM,MM,AA,OTEC,OPED,RPM220,OT220,RPM190,OT190,
% OP090,OP150,TBC,TEF1,TSEG,PD10,PD13,PD1A,PD20,PD2M,PD2A,PTR,
% PTC00,PTT,PC00,FINALUC,COUNT;
% INTEGER TGT150,TGT090;
% REAL TXD,TKR,PVAL,MINPENAL,PENAL,PENALT;
% INTEGER ARRAY TCID,TLAR(1:100);
% REAL ARRAY TCOFF(1:100);
% INTEGER ARRAY PDD100,PDD110,PDD2150,PTTR150,PTC150,POT150,
% PCDD090,PDD1090,PDD2090,PTTR090,PTC090,POT090 (1:200);
% REAL ARRAY PVAL150,PVAL090,PROT150,PROT090(1:200);
% INTEGER ARRAY JU150,JU090,OPTS150,OPTS090(1:200);
% FORMAT FOPMA (<2(I0,X1),F18,A1,P0R14.2,X1,I2,2(X1,I6),X1,R11.3,
% X1,R12.4,X1,R12.7>);

```

```

%*****

```

```

% DECLARAÇÕES DE PROCEDURES DO PROGRAMA %

```

```

%*****

```

```

% LABEL ERRO0,ERRO3,SEMTEC,NEXTJ,FIM,ERRO4;

```

```

% INDICE DECLARATION (PES, BINARIA)

```

```

% INTEGER PROCEDURE INDICE (CHAVE,LSTA,QUANT,COUNT);

```

```

% INTEGER CHAVE,QUANT,COUNT;

```

```

% INTEGER ARRAY LSTAL;

```

```

% BEGIN

```

```

% LABEL ACHOU;

```

```

% FOR COUNT:=1 STEP 1 UNTIL QUANT DO

```

```

% IF CHAVE = LSTA(COUNT) THEN GO TO ACHOU;

```

```

% WRITE (PRINT,<"TECIDO ",I0," NAO ENCONTRADO NA TABELS">,CHAVE);

```

```

% COUNT:=0;

```

```

% ACHOU:

```

```

% INDICE:=COUNT;

```

```

% END INDICE;

```

```

%

```

* DIAS DECLARATION

```

INTEGER PROCEDURE DIAS(A,M,D);
INTEGER A,M,D;
BEGIN
    DIAS:=(A-76)*365+((A-76-1)DIV 4 +1)+
        (CASE M-1 OF (0,31,59,90,120,151,181,212,243,273,304,334))+
        (IF M>2 AND ((A-76)MOD 4 = 0) THEN 1 ELSE 0)+D;
END DIAS;

```

* SAISEQUENCE DECLARATION

```

PROCEDURE SAISEQUENCE (J,PENAL,JOB);
INTEGER J;
REAL PENAL;
INTEGER ARRAY JOB(1);
BEGIN
    INTEGER M,N;

    INTEGER TOTOT;
    REAL TEMPO,TOTVAL;
    TEMPO:=DIAS(A,M,D);
    WRITE (PRINT,SKIP 1);
    WRITE (PRINT,"SEQUENCIACAO DOS PEDIDOS DE LARG.= ",F4.2,
        " DATA INICIAL =",I6," PENALIDADE=",R13.2);

    IF J=J THEN 0.0 ELSE 1.50,TEMPO,PENAL);
    WRITE (PRINT,"TEMPOS ALCANÇADOS = ",I3," DE 2.20 E ",I3," DE 1.90");

    IF J=J THEN TOT20=MINALOC,PT190] ELSE [MINALOC,0];
    WRITE (PRINT,"*",I1("-"),"X",Z,"PEDIDO ANTIGO QUANTID(K)",X8,
        "VALOR TT DATA1 DATA2 TEMPO(HRS) ATRAZO(DIAS) DATA ACUM.",/
        "X",I1("-"),"X">);

    TOTOT:=TOTVAL:=0;
    IF J=0
    THEN FOR N:=1 STEP 1 UNTIL QP090 DO
        BEGIN
            N:=JOB(N); TEMPO:=**+PROT090(N);
            TOTOT:=**+POT090(N);
            TOTVAL:=**+PVAL090(N);
            WRITE (PRINT,FURMA,PC00090(N),PTC090(N),POT090(N),
                PVAL090(N),PTT090(N),PDD1090(N),PDD2090(N),
                PROT090(N)*24,MAX(0,TEMPO-PDD1090(N)),TEMPO);
        END
    ELSE FOR M:=1 STEP 1 UNTIL QP150 DO
        BEGIN
            N:=JOB(M);
            TEMPO:=**+PROT150(N);
            TOTOT:=**+POT150(N);
            TOTVAL:=**+PVAL150(N);
            WRITE (PRINT,FURMA,PC00150(N),PTC150 (N),POT150(N),
                PVAL150(N),PTT150(N),PDD1150(N),PDD2150(N),
                PROT150(N)*24,MAX(0,TEMPO-PDD1150(N)),TEMPO);
        END;
    WRITE (PRINT,</,"TOTALS :",I6,P13,P8R15.2>,M-1,TOTOT,TOTVAL);
    WRITE (PRINT,SKIP 1);
END SAISEQUENCE;

```

SA

SAIS

2

*

* CALCPROTIME DECLARATION

```

PROCEDURE CALCPROTIME (J);
INTEGER J;
BEGIN

```

```

INTEGER K,L;

FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QP150 DO
  BEGIN
    L:=INDICE (PTC150[K],TCOD,ITEC,COUNT);
    PROT150[K]:=P1150[K]*TCO*FLL1/
      ((RPI170*IT190+RPI220*(OT220-J))*1440);
  END;
FOR K:=1 STEP 1 UNTIL QP090 DO
  BEGIN
    L:=INDICE (PTC090[K],TCOD,ITEC,COUNT);
    PROT090[K]:=P110/J[K]*TCO*FLL1/(2+J*RPI220*1440);
  END;
END; CALCPROFIL;

```

CAI

```

FIRSTSEQ DECLARATION (SHELL=SOAT)
PROCEDURE FIRSTSEQ (JOB,DUED1,NJOBS,VALOR);
INTEGER ARRAY JOB,DUED1[1];
REAL ARRAY VALOR[1];
INTEGER NJOBS;
BEGIN
  INTEGER I,J,K,M,N; LABEL AGAIN,FINSEQ,NEXTJ;

  I:=1;
  WHILE I <= NJOBS DO
    BEGIN
      I:=2*I-1;
      I:=2*I;
    END;
  AGAIN:
    M:=ENTIER(I/2);
    IF M = 0 THEN GO TO FINSEQ;
    N:=NJOBS-M;
    FOR J:=1 STEP 1 UNTIL M DO
      BEGIN
        FOR I:=J STEP M UNTIL 1 DO
          BEGIN
            IF DUED1[JOB[I+1]] > DUED1[JOB[I]]
              THEN GO TO NEXTJ;
            IF DUED1[JOB[I+1]] = DUED1[JOB[I]] THEN
              IF VALOR[JOB[I+1]] <= VALOR[JOB[I]] THEN GO TO NEXTJ;
            W:=JOB[I];
            JOB[I]:=JOB[I+1];
            JOB[I+1]:=W;
          END;
        NEXTJ:
          END;
        GO TO AGAIN;
      FINSEQ:
        END FIRSTSEQ;

```

```

*
* SEQUENCE DECLARATION
PROCEDURE SEQUENCE (PENAL,TX1,TX2,
                    TX1,TX2,EJOB,JOB,NJOBS);
*
* PARAMETROS
INTEGER NJOBS;
REAL PENAL,TX1,TX2;
INTEGER ARRAY DUED1,DUED2,EJOB,JOB[1];
REAL ARRAY PROTIME,VALOR[1];
*
* DECLARACDES INTERNAS
BEGIN

```

1 PENALTY DECLARATION

REAL PROCEDURE PENALTY (I, JOB);

INTEGER I;

INTEGER ARRAY JOB(1);

BEGIN

INTEGER JJ;

REAL PENAL, COMPLETION;

PENAL:=0;

COMPLETION:=DIAS(AH,HH,DH);

FOR J:=1 STEP 1 UNTIL I DO

BEGIN

COMPLETION:=COMPLETION+PROTIME[JOB(J)];

IF COMPLETION > DUE1[JOB(J)]

THEN PENAL:=PENAL+(TX/30)*(COMPLETION-DUE1[JOB(J)])*VALOR[JOB(J)];

IF COMPLETION > DUE2[JOB(J)]

THEN PENAL:=PENAL+(X2*VALOR[JOB(J)]);

END;

PENALTY:=PENAL;

END PENALTY;

PROCEDURE RESTAURA (JOB1, JOB2);

INTEGER ARRAY JOB1, JOB2(1);

BEGIN

INTEGER JJ;

FOR J:=1 STEP 1 UNTIL NJOBS DO JOB1[JJ]:=JOB2[J];

END RESTAURA;

2 NEXTISEQ DECLARATION

PROCEDURE NEXTISEQ (VALU);

REAL VALU;

BEGIN

COMMENT CRIT. DE MOD.ONS PARA MIN #TARDY JOBS, COM MODIFICACAO
NO CRITERIO DE SELECAO DO JOB A SER RETARDADO;

INTEGER NTARDY, I, J, MINJ, SAVEJ;

REAL COMPLETION, IVALUE;

LABEL AGAINI, AGAINII, NEXTII;

NTARDY:=0;

AGAINI:

COMPLETION:=DIAS(AH,HH,DH)+PROTIME[JOB(1)];

I:=2;

AGAINII:

COMPLETION:=COMPLETION+PROTIME[JOB(I)];

IF COMPLETION <= DUE2[JOB(I)] THEN GO TO NEXTII;

IVALUE:=VALOR[JOB(I)]/PROTIME[JOB(I)];

MINJ:=I;

FOR J:=1 STEP 1 UNTIL (I-1) DO

BEGIN

VALU:=VALOR[JOB(J)]/PROTIME[JOB(J)];

IF VALU < MINVALUE

THEN BEGIN

MINVALUE:=VALU;

MINJ:=J;

END;

END;

IF MINJ = I THEN GO TO NEXTII;

SAVEJ:=JOB(MINJ);

FOR J:=MINJ STEP 1 UNTIL (NJOBS-NTARDY-1) DO JOB[J]:=JOB[J+1];


```

JOB(NJOBS-NTARDY):=SAVEJ;
COMPLETION:=**PROJTIME[JOB[NJOBS-NTARDY]];
NTARDY:=NTARDY+1;
I:=I-1;
EXIT;
I:=I+1;
IF I <= (NJOBS-NTARDY) THEN GO TO AGAIN;
VALU:=PENALTY(NJOBS,JOB);
WRITE (PRINT, <<"APROX. HODGSONS : PENALIDADE = ", PSF13.2>>, VALU);

WRITE (PRINT, <<"NOVA SEQ. = ", *(7,30(13,X1))>>, (NJOBS DIV 30)+1,
FOR I:=1 STEP 1 UNTIL NJOBS DO JOB(I));
END NEXTSEQ;

```

```

5
; IMPROVEMENT DECLARATION
REAL PROCEDURE IMPROVEMENT (I,J);
INTEGER I,J;
BEGIN
INTEGER ARRAY SJOB(1:NJOBS);

```

```

INTEGER K;
REAL WPEV;
RESTAURA (SJOB,JOB);
WPEV:=PENALTY(I,SJOB);
I:=SJOB(I);
FOR K:=J STEP 1 UNTIL (I-1) DO SJOB(K):=SJOB(K+1);
SJOB(I):=I;
WPEV:=**PENALTY(I,SJOB);
IMPROVEMENT:=WPEV;
END IMPROVEMENT;

```

IM

IMP

```

5
; SEQUENCE BODY
BOOLEAN CHANGE;
LABEL AGAIN,NEXTI;
INTEGER I,J,MAXJ,ITERATION;
REAL MAXIMPROV,IMPROV,TOTPRTIME;
6 SALVAMENTO DA SEQUENCIA INICIAL
RESTAURA (JOB,EJOB);
IMPROV:=PENALTY(NJOBS,JOB);
WRITE (PRINT, <<"PENALIDADE INICIAL = ", PSF13.2>>, IMPROV);
WRITE (PRINT, <<"SEQ. INIC. = ", *(7,30(13,X1))>>, (NJOBS DIV 30)+1,
FOR I:=1 STEP 1 UNTIL NJOBS DO JOB(I));
; SEQ. IMPROVEMENT THROUGH MODIE HODGSONS
REXISEQ (PENAL);
IF PENAL > IMPROV THEN RESTAURA (JOB,EJOB);
; PENALTY IMPROVEMENT BY "1-OPTIMAL" BUBBLE'S PRINCIPLE
ITERATION:=0;
AGAIN:
CHANGE:=FALSE;
ITERATION:=**+1;
TOTPRTIME:=DIAS(AH,4H,OH);
FOR I:=2 STEP 1 UNTIL NJOBS DO
BEGIN
TOTPRTIME:=**+PROTIME[JOB(I)];
IF OUED[JOB(I)] >= TOTPRTIME
THEN GO TO NEXTI;
MAXIMPROV:=0;
MAXJ:=0;
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL (I-1) DO
BEGIN
IMPROV:=IMPROVEMENT(I,J);

```

```

IF IMPROV > MAXIMPROV
  THEN BEGIN
    MAXIMPROV:=IMPROV;
    MAXJ:=J;
  END;
END J;
IF MAXIMPROV > 9.999
  THEN BEGIN
    CHANGE:=TRUE;
    N:=JOB[ MAXJ ];
    FOR J:=MAXJ STEP 1 UNTIL (I-1) DO JOB[J]:=JOB[J+1];
    JOB[I]:=N;
  END;
EXIT;
END I;
PENAL:=PENALTY(NJOBS,JOB);
WRITE (PRINT, <"ITERATION, NO.:", I, " PENALIDADE = ", F15.2>,
      ITERATION, PENAL);
WRITE (PRINT, <"VALOR DE S = ", X(7,30013,X1)>, (NJOBS DIV 30)+1,
      FOR I:=1 STEP 1 UNTIL NJOBS DO JOB[I]);
IF CHANGE THEN IF ITERATION < 10 THEN GO TO AGAIN;
END SEQUENCE;

*****
* PROCEDIMIENTOS DO PROGRAMA
*****
READ (CARTAO, <I1, I3, I2, 2F3.1, I2, I3, 4I3>,
      TIPCAR, <DIAS, JH, AH, IXE, IXE, QTEC, QPED, RPM220, QT220,
      RPM190, QT190>);
IF TIPCAR = 0 THEN GO TO ERRO0;
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QTEC DO
  BEGIN
    READ (CARTAO, <I1, I3, X1, I1, I2, I3, X3, I2>,
          TIPCAR, <ICDD, J, ILARG, J, IBOC, IFEI, ISEG>);
    IF TIPCAR = 3 THEN GO TO ERRO3;
    ICDEFI[J]:=IBOC*100/((IFEI/100)*(100-TSEG)/100);
  END;
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL QPED DO
  BEGIN
    READ (CARTAO, <I1, I3, I2, I0, I7, F10.2>, TIPCAR,
          PCCO, <PO10, PO11, PD1A, PD2D, PD21, PD2A, PTR, PTCOD, POT, PVAL>);
    IF TIPCAR = 4 THEN GO TO ERRO4;
    K:=INDICE(PTCOD, ICDD, QTEC, COUNT);
    IF COUNT = 0 THEN GO TO SEITEC;
    IF ILARG[K] = 0
      THEN BEGIN
        QP090:=**+1;
        PTC090[QP090]:=PTCOD;
        PC0090[QP090]:=PCOD;
        PDD1090[QP090]:=DIAS(PO1A, PO1M, PO1D)-PTR-1;
        PDD2090[QP090]:=DIAS(PO2A, PO2M, PO2D)-PTR-1;
        PTR090[QP090]:=PTR;
        POT090[QP090]:=POT;
        PVAL090[QP090]:=PVAL;
        TOT090:=**+PQT;
      END
    ELSE BEGIN
        QP150:=**+1;
        PTC150[QP150]:=PTCOD;

```

```

PCDD150(JP150):=PCDD;
PDD115(JP150):=DIAS(PCD1A,PD1M,PD1D)*PTR-1;
PDD215(JP150):=DIAS(PCD2A,PD2M,PD2D)*PTR-1;
PDT15(JP150):=PTD;
PDT150(JP150):=PDT;
PVAL150(JP150):=PVAL;
TXF150:=**PDT;
END;
NEXT J;
END J;
%
% SEUS. CIACAO INICIAL PELA DUED=DATE-1/VALER=DU=JOB
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL NP150 DO JOB150(J):=J;
FIRSTSEQ (JOB150,PDD1150,OP150,PVAL150);
FOR J:=1 STEP 1 UNTIL NP090 DO JOB090(J):=J;
FIRSTSEQ (JOB090,PDD1090,OP1090,PVAL090);
%
% PROCEDIM. DIAM. DE ALLOCACAO
MINPENAL:=100000000.00;
MINALOC:=0;
OT1ED:=INTEGER((OT1090/(2*RPM220))*(OT190*RPM190+OT220*RPM220)/
(OT1150+OT220/2));
FOR J:=MAX(0,OT1ED-10) STEP 3 UNTIL MIN(OT220,OT1ED+10) DO
BEGIN
WRITE (PRINT, <"** ALLOCACAO DE ", I3, " TEARES LARGOS A TEC. ESTREITOS">,
J);
CALCPRTIME (J);
SEQUENCE (PENAL,PROT150,PDD1150,PDD2150,PVAL150,TXB/100,
TXF/100,JOB150,OPTS150,OP150);
PENALT:=PENAL;
SEQUENCE (PENAL,PROT090,PDD1090,PDD2090,PVAL090,TXB/100,
TXF/100,JOB090,OPTS090,OP090);
PENALT:=**PENAL;
IF PENALT < MINPENAL
THEN BEGIN
MINALOC:=J;
MINPENAL:=PENALT;
END;
END ALLOCACAO;
%
% CALCULO E SAIDA DA ALLOCACAO
CALCPRTIME (MINALOC);
SEQUENCE (PENAL,PROT150,PDD1150,PDD2150,PVAL150,TXB/100,
TXF/100,JOB150,OPTS150,OP150);
SAISEQUENCE (1,PENAL,OPTS150);
SEQUENCE (PENAL,PROT090,PDD1090,PDD2090,PVAL090,TXB/100,
TXF/100,JOB090,OPTS090,OP090);
SAISEQUENCE (0,PENAL,OPTS090);
GO TO FIM;
%
% ROTINAS DE ERRO
%
ERR01:
WRITE (PRINT, <"FALTOU CARTAO MESTRE - CANCELO">);
GO TO FIM;
ERR03:
WRITE (PRINT, <"FALTA CART. TLC.", I6, TCD(J)>);
GO TO FIM;
ERR04:
WRITE (PRINT, <"FALTA CART. PEDIDO ", I6, PCDD)>);
GO TO FIM;
SEITEC:

```

```
WRITE (PRINT, <"TECNOLOGIA INFORMADA =">, 15>, PTC00);  
GO TO NEXTJ;  
FIN;  
END.
```

```
=====  
WORDS DETECTED = 0.  
SEGMENTS = 21. TOTAL SEGMENT SIZE = 1170 WORDS. CORE ESTIMATE = 4618 WORDS. IS  
= 409 CARDS, 2535 SYNTACTIC ITEMS, 97 DISK SEGMENTS.  
NAME: (000419000)PROG1.  
TIME = 13.023 SECONDS ELAPSED; 4.955 SECONDS PROCESSING; 8.744 SECONDS I/O.  
=====
```

BIBLIOGRAFIA

1. AHO, A.V., HOPCROFT, J.E., e ULLMAN, J.D., The Design and Analysis of Computer Algorithms^m, Addison - Wesley, California, 1974.
2. BAKER, K.R., Introduction to Sequencing and Scheduling, Wiley, New York, 1974.
3. DANTZIG, G.B., Linear Programming and Extensions, Princeton University Press, New Jersey, 1962.
4. DANTZIG, G.B., e ORCHARD-HAYS, W., "The Product Form for the Inverse in the Simplex Method", Math. Tables and Aids to Computations, V.8, N.46, 1954.
5. EMMONS, H. "One-Machine Sequencing to Minimize Certain Functions of Job Tardiness", Operations Research, V.17, N.4, 1969.
6. JOHNSON, S.M., "Optimal Two - and Three - Stage Production Schedules with Setup Times Included", Naval Research Logistics Quarterly, V.1, N.1, 1954
7. MONTGOMERY, D.C. e JOHNSON, L.A. , Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control, wiley New York, 1970

8. MOORE, J.M. "Sequencing n Jobs on One Machine to Minimize The Number of Tardy Jobs", Management Science, V.17, n.1, 1968
9. SIMONNARD, M., Linear Programming , Prentice Hall, New Yersey, 1966.
10. WAGNER, H.M., Principles of Operations Research, Prentice Hall, New Yersey, 1975.