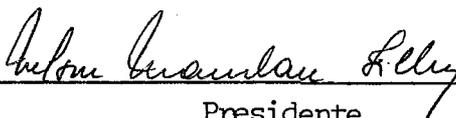


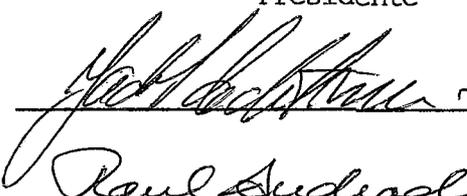
LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Hermann Gonçalves Marx

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

Aprovada por:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_

  
\_\_\_\_\_

RIO DE JANEIRO  
ESTADO DA GUANABARA - BRASIL  
DEZEMBRO DE 1974

II - R E S U M O

Este trabalho teve por objetivo a otimização do sistema de distribuição de combustível de aviação para todo o Brasil.

A abordagem é de um problema simples de transporte. Casos opcionais, com a utilização de teoria de programação inteira, foram levantados e estudados.

O interesse paralelo deste trabalho é apresentar a nível didático, um trabalho extremamente real.

Chama-se a atenção para as análises dos out puts, por ser matéria de pouca divulgação.

Hermann G. Marx

III ABSTRACT

This paper dealt with the optimization of the distribution of aviation gas for the whole of Brasil.

The approach is that of a transportation problem. Some exceptional cases were studied using integer programming.

Another feature of this paper is that it presents at an accessible level the application of the mathematical theory to a concrete industrial problem.

We call attention to the output analysis since this aspect has not been much explored in the literature.

IV - I N D I C E

Introdução	pg 1
Capítulo 1 : O MODELO	
1.1	Considerações iniciais pg 7
1.2	Componentes do sistema pg 8
1.3	Escolha do modelo-justificativa pg 13
1.4	Simbologia e coeficientes pg 20
1.5	Estrutura e coeficientes pg 26
1.6	Comentarios pg 27
Capítulo 2 : DESENVOLVIMENTO ANALITICO	
2.1	Procedimento matematico pg 29
2.2	Programa para computadores pg 33
Capítulo 3 : OBTENÇÃO DE DADOS	
3.1	Códigos pg 46
3.2	Preço do produto colocado na base pg 47
3.3	Custo de operação da base pg 48
3.4	Custo de frete total pg 50
3.5	Produção das bases pg 52
3.6	Demanda dos aeroportos pg 55
Capítulo 4 : RESOLUÇÃO COMPUTACIONAL	
4.1	Introdução pg 59
4.2	Sequencia de experimentos pg 61
4.3	Quadro tecnico pg 63
4.4	Aplicação da programação 0-1 pg 64

## Capítulo 5 : ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1	Mapas geograficos com distribuição obtidas	pg 67
5.2	O porque da sequencia de experimentos	pg 76
5.3	Comparações entre rede otima, caso b e caso c	pg 78
5.4	Análise dos "mapas" do computador	pg 80
5.5	Análise de sensibilidade	pg 82

## Capítulo 6 : COMPARAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO

6.1	Comparação	pg 85
6.2	Implementação - indicações	pg 86

Apendice I	pg 87
Anexo I	pg 93
Anexo II	pg 102
Bibliografia	pg 108

## I N T R O D U Ç Ã O

A distribuição de querosene de aviação (AVJET) aos aeroportos e fregueses de todo Brasil, vem sofrendo algumas modificações: por imposições da companhia abastecedora estatal, ou por variação de demanda (novos contratos com companhias de aviação, etc.), etc...

Se torna imperativo, portanto, um estudo que nos forneça subsídios suficientes para a adoção de uma política ótima de distribuição, com base não só na "obrigatoriedade" da existência do produto nos PAA (posto de abastecimento de aeroporto) como outrossim em imposições econômicas associadas.

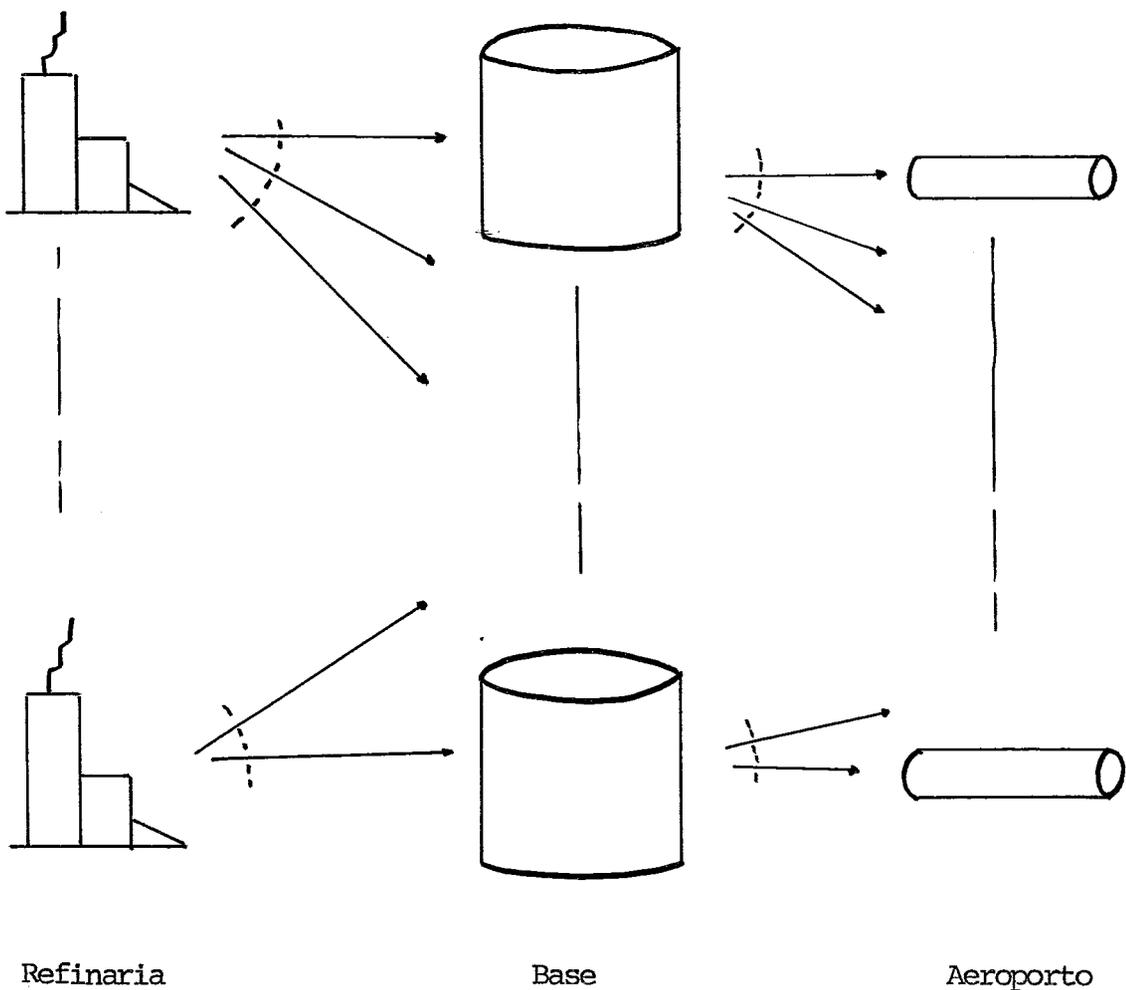
Vale reafirmar que os resultados aqui apresentados serão somente um instrumento do qual dispõe o administrador para uma "tomada de decisão" quanto à política a ser adotada.

Este estudo foi feito com base nos valores atuais (valores de janeiro a julho de 1974) o que, entretanto, não o torna estático. O que se recomenda é a atualização dos dados aqui utilizados e uma nova "rodada" do modelo toda vez que esses dados tiverem variações sensíveis (ver análise de sensibilidade) ou houverem novos componentes a acrescentar (nova base, novo aeroporto, etc.).

É portanto, objetivo deste trabalho, determinar as áreas de influência de cada base (depósito) ou seja o esquema geral de suprimento.

Antes de tratarmos do modelo a ser usado, se faz necessário uma visão do conjunto que iremos tratar.

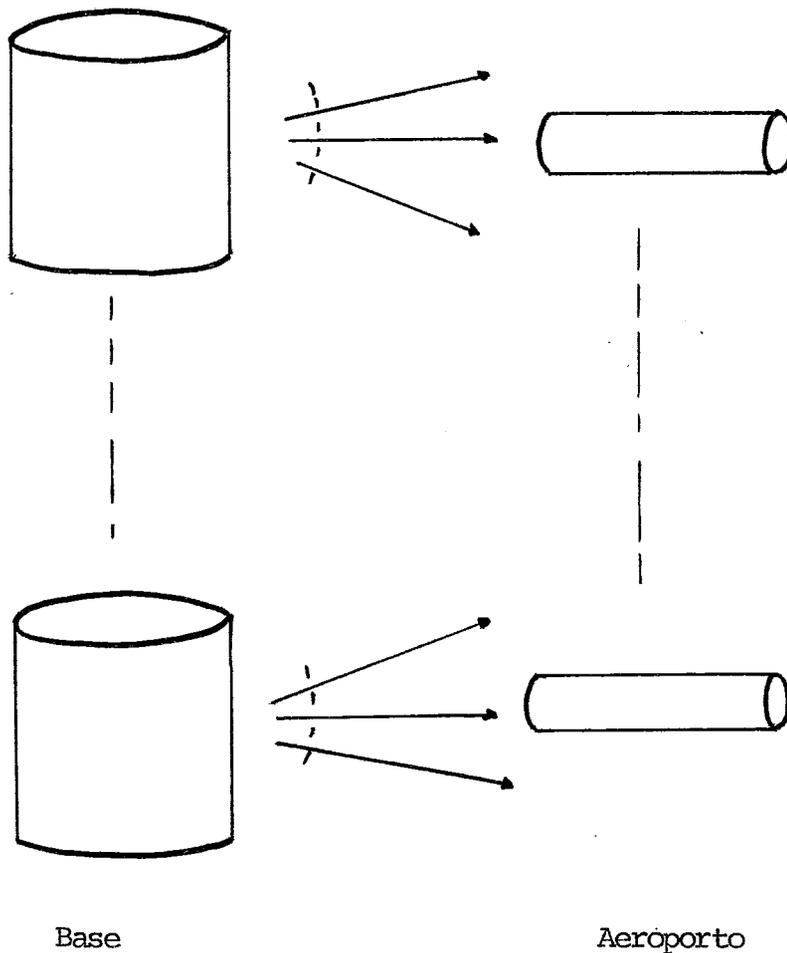
O nosso "conjunto universo" é o seguinte:



O sub conjunto, sobre o qual trabalharemos é base-aeroporto.

Não nos irá preocupar o complemento refinaria-base ou mesmo com um esquema totalmente modificado, o nosso resultado não ficará alterado, pois, independentemente de qual refinaria o produz, o produto é colocado nas bases ao mesmo preço, cabendo unicamente à Petrobrás o onus respectivos.

O nosso objetivo é, então, otimizar a rede.



POLÍTICAS ALTERNATIVAS

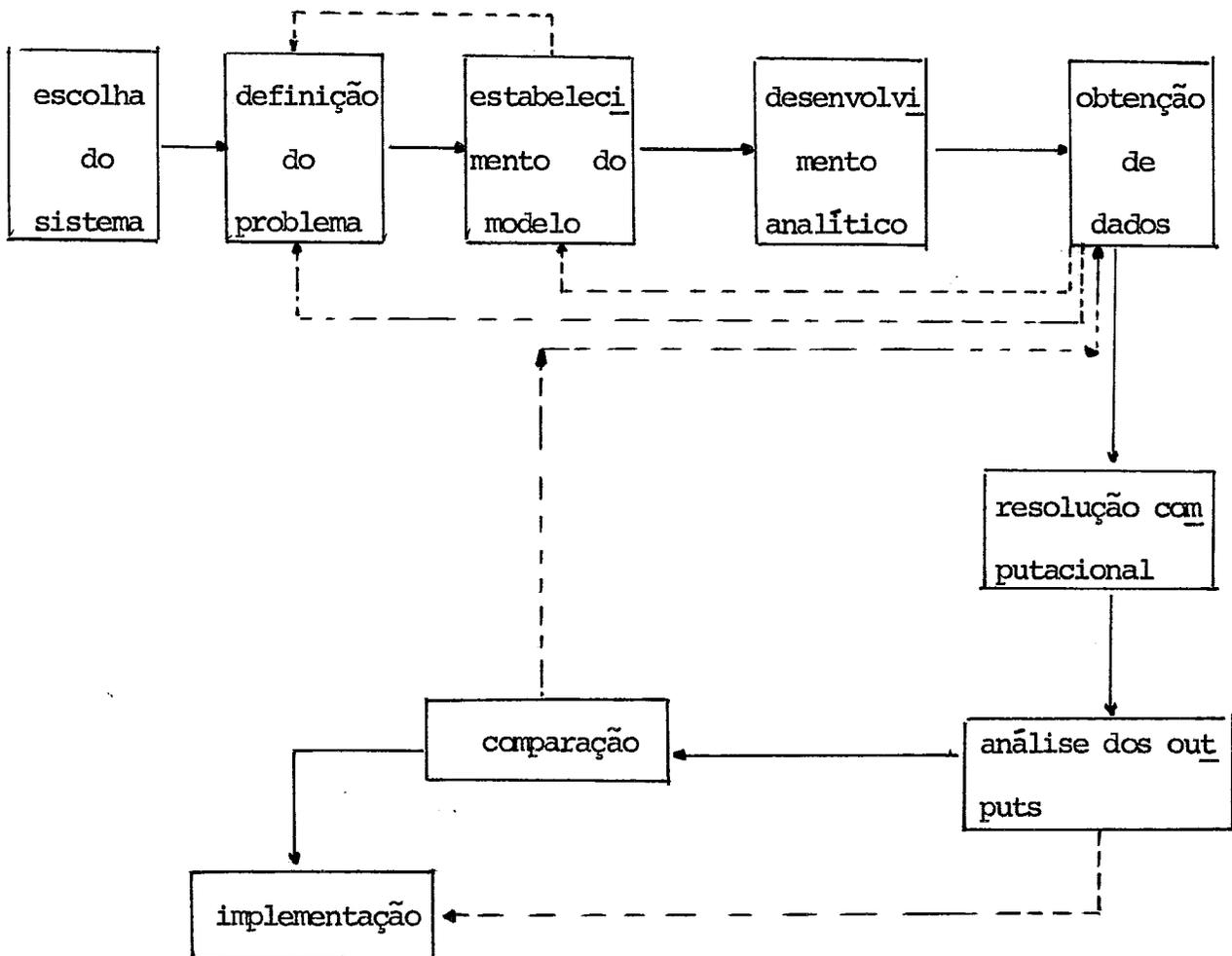
Para que obtivéssemos indicações, as mais econômicas, quanto ao esquema de distribuição para situações esporádicas, simulamos alguns ca sos, no nosso modelo.

É interessante notar que em geral (a menos de um experimento) trabalhamos com valores médios. Isso sugere, claramente, que quando em al gum aeroporto ou base houver uma variação repentina e brusca da demanda, o res ponsável pela região deverá atuar mais diretamente, até que a situação se norma lise (exemplo: fins de semana mais prolongados, etc.).

DIAGRAMA DE DESENVOLVIMENTO

Para um melhor acompanhamento deste projeto, em particular, e desenvolvimento de quaisquer outros projetos em P.O, sugerimos a seguinte sequência de atividades.

Obs.: Não faremos maiores comentários a respeito do diagrama abaixo, pois estes seriam longos e não são de interesse maior neste projeto.



## Capítulo 1

### O MODELO

- 1.1 Considerações iniciais
- 1.2 Componentes do sistema
- 1.3 Escolha do modelo - justificativa
  - 1.3.1 Variáveis do modelo
  - 1.3.2 Restrições
  - 1.3.3 Função objetivo
- 1.4 Simbologia e coeficientes
- 1.5 Estrutura do modelo
- 1.6 Comentários

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O sistema que nos propomos a estudar, faz, indubitavelmente, parte de um sistema maior. Essa dependência é sentida especialmente quando se estuda a viabilidade econômica. Se por exemplo, fossemos investir na construção ou ampliação de uma base que movimentasse somente AVJET teríamos um custo  $x$ . Se, no entanto, essa base movimentasse produtos, além de AVJET, em geral o custo seria  $y < x$  (considerando-se pessoal, etc.).

O modelo matemático propõe, guardadas limitações de informação, computacional ou mesmo matemática, representar o que está acontecendo com o sistema.

Não consideraremos variações de preço Duty Free, pois que, a maior parte do produto consumido por aqueles que tem direito a Duty Free é entregue pela Petrobrás.

É de grande importância, ficarmos alertas ao fato que muitos dos dados necessários para nosso modelo podem estar sujeitos a erro. Isso não irá tirar o mérito das soluções obtidas, mas sim obriga-nos a realizar novo experimento quando esses valores forem fornecidos com maior precisão.

## 1.2 COMPONENTES DO SISTEMA

Inicialmente analisaremos todos os itens que compõem o sistema em estudo.

Alocaremos os itens em três grupos: Bases, transporte, PAA.

### 1.2.1 Base

I. "Produção" - é a quantidade de capacidade de movimentação do produto pela base.

i) quando a base é ligada à refinaria por oleoduto e há bombeamento direto, a base tem alta capacidade de movimentação;

ii) quando a base é abastecida por carro-tanque ou navio-tanque e está distante da refinaria, tem uma baixa capacidade de movimentação.

Em ambos os casos a quantidade de produção estará diretamente relacionada com o estoque utilizável da base e inversamente com o tempo entre chegadas do produto.

II. "Estoque Utilizável" - é a tancagem operacional da base. Esse valor gira em torno dos 84% da tancagem total.

III. "Custo do Produto colocado na Base" - é o preço que a companhia paga à Petrobrás. Esse valor é fixo e independente da base, ou da refinaria que a supre.

IV. "Custo de Recebimento" - é o custo variável diretamente com o número de recebimentos (nº de papeis, mão-de-obra, etc.).

V. "Remuneração de Capital Investido em Estoque em Transito" -  
- custo do produto em estoque em transito, tanto em transferência como em distribuição direta.

Uma análise numérica comparativa com frete é feita abaixo.

Temos : Remuneração de Capital Investido em estoque em transito = REM

$$\text{REM} = \text{preço} \times \frac{\text{dias}}{30} \times 0,02$$

Admitindo : Tempo máximo de viagem = 5 dias

Custo/litro do AVJET = 0,5 Cr\$/l

Caminhão (maior capacidade) = 30.000 l

$$\text{REM} = 30.000 \times 0,5 \times \frac{5}{30} \times 0,02 = \text{Cr\$ } 1.6$$

considerando que em 5 dias um caminhão pode percorrer 2.500.

Admitamos um frete médio de Cr\$ 400,00.

Portanto o REM calculado representa 0,4% do frete.

VI. "Custo de Transferência" - somente em BIP temos a ocorrência de transferência do produto vindo de Santos ou Paulínia. Em virtude disso calcularemos o preço do produto colocado em BIP ao invés de entrar-se com o valor da transferência.

VII. "Remuneração de Capital Investido em Estoque na Base" -

- é um valor que em m<sup>3</sup> não deverá ter uma grande variação de base para base. É entretanto, comparado com custo operacional de base, uma percentagem muito pequena o que nos indica, imediatamente, que não deverá ser utilizado.

VIII. "Custo de Operação" - é um item de obtenção muito difícil, sem erro, pois nada existe calculado até o momento.

O que temos é o valor de taxa cobrada a Congêneres ou paga a eles.

### 1.2.2 Transporte

- I. "Frete Unitário" - como iremos otimizar um esquema de distribuição, devemos considerar todos os fretes unitários. Isso se torna mais facilmente realizável pelo fato que o transporte é todo feito por terceiros. A companhia não possui nenhum caminhão próprio fazendo o transporte base-aeroporto. Portanto para a companhia, em linhas gerais, o frete unitário é independente do volume transportado. Isso por que o transportador normalmente só trafega com o caminhão totalmente cheio, e para isso possui caminhões de tamanhos diversos.
- II. "Distância Base - PAA" - é a distância entre cada base e cada aeroporto. Para obtenção de todo o grafo iremos usar as menores distâncias rodoviárias para cada rota ou eventualmente uma distância maior porém toda em asfalto, etc.

III. "Tempo de Percurso" - é de difícil obtenção pois para cada tipo de estrada temos uma velocidade média, e nem todos os caminhos estão sendo, atualmente utilizados.

### 1.2.3 PAA

I. "Demanda" - existe um cadastro de vendas por unidade (base ou PAA).

Os dados arquivados são originados das faturas. Isso fará com que incorramos em erros se tentamos tirar diretamente a média das vendas.

Uma análise mais detalhada se fará necessária.

II. "Estoque Utilizável" - é a tancagem operacional do aeroporto.

estoque utilizável = tancagem máxima + volume dos caminhões -  
- lastro - segurança superior

onde:

lastro = volume não utilizado, onde há decantação de água ou depósito de sujeira.

segurança superior

or = tancagem não utilizada na parte superior do tanque, por questões de segurança.

III. "Demanda dos Fregueses" - quantidades retiradas pelos fregueses diretamente das bases. Encontram-se arquivados, os valores, nas fitas de vendas (vide 1.2.3/I)

### 1.3 ESCOLHA DO MODELO

O problema de transporte ou distribuição é um caso típico de otimização linear de redes. Trata-se de um problema de estratégia onde se procura alocar quantidades, e seleccionar rotas.

As nossas componentes são ou podem ser consideradas com variação linear, sem erros significativos.

Matematicamente falando, uma relação linear tem a forma:

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = b^1$$

Apresentamos a seguir uma descrição matemática de um problema clássico de transporte.

Convém lembrar que o conceito de eficiência, que é o desejo no nosso problema de transporte, está ligado ao conceito de minimização.

O modelo fica:

$$(1) \text{ minimizar } Z(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a restrições

$$(2) \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i \quad \text{para } i=1, 2, \dots, m \text{ (oferta)}$$

$$(3) \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j \quad \text{para } j=1, 2, \dots, n \text{ (demanda)}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo } i, j$$

Isso significa que temos  $m$  pontos de oferta sendo que cada ponto produz no máximo  $S_i$ , e temos  $n$  pontos de demanda sendo que cada ponto de demanda  $D_j$ .

(1) é a "função objetivo" ou o objetivo do problema.

Uma montagem tabular muito útil vem a seguir:

$c_{11}$ $x_{11}$	$c_{12}$ $x_{12}$	$c_{13}$ $x_{13}$	....	$c_{1n}$ $x_{1n}$
$c_{21}$ $x_{21}$			....	$c_{2n}$ $x_{2n}$
.	.	.	....	.
.	.	.	....	.
.	.	.	....	.
$c_{m1}$ $x_{m1}$	$c_{m2}$ $x_{m2}$	$c_{m3}$ $x_{m3}$	....	$c_{mn}$ $x_{mn}$

Para que o modelo possua soluções viáveis é necessário que

$$\sum_{i=1}^m S_i \geq \sum_{j=1}^n D_j$$

ou seja, que a oferta ou disponibilidade total seja maior ou

no mínimo igual ao total da demanda. No modelo acima  $x_{ij}$  é a quantidade transportada do ponto  $i$  de oferta ao ponto  $j$  de demanda, e  $c_{ij}$  é o custo total unitário, associado a esse transporte.

Pelo que vimos, a utilização para o nosso problema, de um modelo de programação linear em redes é plenamente justificável (cada componente será agora mostrada em maior detalhe). Além disso a disponibilidade do LPS contribuiu para a escolha de um modelo linear.

Diante de um modelo de transporte e face a experiência adquirida podemos seleccionar quais variáveis, restrições e função objetivo farão parte do nosso modelo.

### 1.3.1 Variáveis

$QB_{km}$  = quantidade que sai da base  $k$  para o aeroporto  $m$

onde:

$k \in \{ \text{bases que movimentam AVJET} \}$  e

$m \in \{ \text{aeroportos servidos pela companhia} \}$

ambos conjuntos são finitos para cada período de tempo considerado.

### 1.3.2 Restrições

É óbvio assinalarmos a não negatividade das variáveis  $QB_{km}$ , isto é:

$$(1) \quad QB_{km} \geq 0$$

Na realidade poderíamos fazer  $QB_{km} \geq$  (capacidade volumétrica menor de transporte) ou seja admitir que caminhão algum saia com o tanque não totalmente cheio. Isso, porém, implicaria em grande dificuldade matemática de representação pois para cada base teríamos um valor diferente para diferentes períodos de tempo. Uma adaptação as disponibilidades de cada base deverá ser feita pelo próprio pessoal da base.

#### I. "Restrições de Oferta" ou "relativas à base"

Produção - na restrição abaixo o volume que sai da base ( $B_k$ ) deverá assumir valor não negativo e não superior à oferta cujo valor é:

$$EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k$$

onde:

$EU_k$  = estoque utilizável na base k.

$TC_k$  = tempo entre chegadas do produto à base k.

$DF_k$  = demanda do freguês que retira o produto diretamente à base k.

As restrições serão:

$$(2) \sum_m QB_{km} \leq EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k$$

$$p/k = 1, \dots, 1$$

Podemos no entanto subdividi-las

$$(3) \sum_m QB_{km} = B_k$$

$$(4) B_k \leq EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k$$

Sabendo ainda que:

$$(5) B_k \geq 0$$

## II. "Restrições de fluxo de transporte"

Não consideraremos restrições alguma dos fluxos. Isso porque em geral podemos requisitar, à companhia transportadora, a alocação de mais caminhões a uma base ou menos a outra. Na realidade existem ou podem existir alguns problemas como um transportador se negar a levar o produto a determinado lugar, etc. Esses devem ser resolvidos diretamente pelo pessoal da base mesmo alterando o frete. Isso porém não deve ser o normal.

Pode-se, porém, remeter os resultados do sistema proposto para uma apreciação de cada base e se houver alguma dificuldade de aplicação, no

que concerne a transporte, essa será considerada no modelo realizando-se novo experimento. A restrição seria:

$$(6) \quad QB_{\underline{k}, \underline{m}} \leq S \quad (\text{quantidade que sai da base } \underline{k} \text{ para } \text{aeropo} \\ \text{porto } \underline{m} \text{ é menor que um valor } S).$$

o que implica em:

$$(7) \quad B_{\underline{k}} \leq W \quad (\text{quantidade que sai da base } \underline{k} \text{ é menor que} \\ W).$$

### III. "Restrições de Demanda" ou "relativas ao PAA"

Trata-se de uma restrição de igualdade, pois a limitação de estoque é crítica, ou seja, não existe a flexibilidade de, uma chegada de produto maior que a tancagem existente, ser armazenada. Portanto:

$$(8) \quad \sum_k QB_{km} = DMA_m \quad p/m = 1, \dots, J$$

onde:

$$DMA_m = \text{demanda do aeroporto } m$$

#### 1.3.3 Função Objetivo

Como já foi dito em 1.3 o conceito de eficiência está ligado ao de minimização. Assim também como o preço do produto é controlado pelo CNP

e fixo para todo Brasil, o nosso objetivo será minimização de custos.

Chamaremos FOQUE a variável que se quer minimizar. Nossa função objetivo será:

$$(9) \text{ minimizar FOQUE} = \sum_m \sum_k C_{k,m} Q_{k,m}$$

onde  $C_{k,m}$  = custo total unitário para levar o produto da base k ao aeroporto m

#### 1.4 SIMBOLOGIA UTILIZADA - COEFICIENTES

##### I. Coeficientes

O custo total  $C_{k,m}$  pode ser expresso por:

$$(10) C_{k,m} = CPB_k + COB_k + CFT_{k,m}$$

Olhando-se sob o prisma matricial teremos duas matrizes  $k \times m$  ( $C_{k,m}$  e  $CFT_{k,m}$ ) e duas matrizes colunas ( $CPB_k$ ,  $COB_k$ ).

No entanto as  $CPB_k$  e  $COB_k$  podem ser escritas como matrizes  $k \times m$  pois é isso com que realmente estamos operando. Assim:

$CPB_k =$

$$\begin{bmatrix} CPB_1 & CPB_1 & \dots & CPB_1 \\ CPB_2 & CPB_2 & \dots & CPB_2 \\ CPB_3 & CPB_3 & \dots & CPB_3 \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ CPB_L & CPB_L & \dots & CPB_L \end{bmatrix}$$

m colunas

$COB_k =$

$$\begin{bmatrix} COB_1 & COB_1 & \dots & COB_1 \\ COB_2 & COB_2 & \dots & COB_2 \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ COB_L & COB_L & \dots & COB_L \end{bmatrix}$$

m colunas

Podemos então escrever

$$\begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & \dots & C_{1,J} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & \dots & C_{2,J} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ C_{L,1} & C_{L,2} & \dots & C_{L,J} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CPB_1 & \dots & CPB_1 \\ CPB_2 & \dots & CPB_2 \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ CPB_L & \dots & CPB_L \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \text{COB}_1 & \dots & \text{COB}_1 \\ \text{COB}_2 & \dots & \text{COB}_2 \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ \cdot & & \\ \text{COB}_L & \dots & \text{COB}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{CFT}_{1,1} & \text{CFT}_{1,2} & \dots & \text{CFT}_{1,J} \\ \text{CFT}_{1,2} & \text{CFT}_{2,2} & \dots & \text{CFT}_{2,5} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \text{CFT}_{L,1} & \text{CFT}_{L,2} & \dots & \text{CFT}_{L,J} \end{bmatrix}$$

Este procedimento apesar de, aparentemente, ser óbvio, se fez necessário acrescentar, para evitar que venham a acontecer problemas devido a um programa de Fortran, que desconsidere a construção acima.

i) Custo do produto colocado na base ( $\text{CPB}_k$ ).

O produto colocado em qualquer base e oriundo de qualquer refinaria, tem o mesmo preço para a companhia.

Os custos pelas eventuais necessidades de abastecimento de uma base, por uma refinaria que não a normal, correm por conta da Petrobrás.

Pela aplicação do modelo de transporte, resolvemos eliminar o "ponto intermediário" (BIP) e calcular, manualmente, o preço do produto colocado nesta base.

Portanto:

$$CPB_{Ipiranga} = CPB_k + CT_{k, Ipiranga}$$

Onde:

$CT_{k, Ipiranga}$  = custo de transferência da base k para base de Ipiranga.

ii) Custo operacional da base ( $COB_k$ )

Dois custos podem ser considerados:

- custo direto de operação
- custo total de operação

As duas formas são corretas, dentro de certos limites que não convém discutirmos neste trabalho.

No entanto, os custos diretos são de difícil e demorada obtenção, e não poderão dentro das circunstâncias atuais vir isentos de erros.

Não se possui também os valores do custo total de operação (custo de manuseio) para AVJET, porém devido as características semelhantes de manuseio de AVJET e, querosene ou gasolina super, usaremos os valores relativos aos dois últimos produtos.

Para bases não próprias em que a companhia trabalha, temos u ma taxa, por movimentação ou espaço cedido, preestabelecida.

iii) Custo frete total de base k ao PAA m ( $CFT_{k,m}$ )

Foi decidido usar o frete total e não, frete unitário e distância, por que, mesmo para a mesma base não se usou o mesmo frete unitário. Se chegar-se a conclusão que a indicação de um único frete unitário por base é o mais indicado aí então, poderemos desprezar o input frete total e trabalhar-mos com os outros dois itens.

Em termos matriciais o que existe é:

$$\begin{bmatrix} CFT_{1,1} & CFT_{1,2} & \dots & CFT_{1,J} \\ CFT_{2,1} & CFT_{2,2} & \dots & CFT_{2,J} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ CFT_{L,1} & CFT_{L,2} & \dots & CFT_{L,J} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} FU_{1,1} & FU_{1,2} & \dots & FU_{1,J} \\ FU_{2,1} & FU_{2,2} & \dots & FU_{2,J} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ FU_{L,1} & FU_{L,2} & & FU_{L,J} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_{1,1} & D_{1,2} & \dots & D_{1,J} \\ D_{2,1} & D_{2,2} & \dots & D_{2,J} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ D_{L,1} & D_{L,2} & \dots & D_{L,J} \end{bmatrix}^T$$

frete total = frete unitário x distância (matriz trans-  
porte)

Portanto, teremos uma economia de tempo de computador e qual-  
quer alteração em  $FU_{k,m}$  não implicará numa nova execução do programa, mas sim  
um cálculo manual e uma alteração em um cartão de entrada.

1.5 ESTRUTURA - MONTAGEM DO MODELO

O nosso modelo completo fica:

$$(9) \text{ minimizar } FOQE = \sum_{k=1}^L \sum_{m=1}^J C_{k,m} \cdot QB_{k,m}$$

sujeito a restrições

$$(3) \sum_{m=1}^J QB_{k,m} = B_k \quad p/k = 1, \dots, L$$

equação de oferta.

$$(4) B_k \leq EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k$$

$$(5) B_k \geq 0$$

$$(8) \sum_{k=1}^L QB_{k,m} = DMA_m \quad p/m = 1, \dots, J$$

equação de demanda

$$(1) QB_{k,m} \geq 0$$

Devemos notar que as equações de oferta e demanda são restrições de igualdade o que diferencia o nosso modelo do padrão. No nosso caso já temos, indiretamente:

$$\sum_k B_k = \sum_m DMA_m$$

## 1.6 COMENTÁRIOS

Faremos, com base no modelo descrito, vários experimentos. Isso porque os dados podem vir com margem de erro grande e também porque é interessante termos várias soluções alternativas para diversos casos.

A sequência de experimentos que iremos realizar é apresentada abaixo.

Todos os modelos são obtidos a partir de (9) (3) (4) (5)  
(8) (1).

### 1º Experimento:

Não há restrição de produção, a menos de Manaus face a inacessibilidade desta base por via terrestre.

### 2º Experimento:

Modelo completo

Cada experimento compreenderá vários casos.

Quanto a comparação entre os diferentes experimentos ( diferentes casos) apresentaremos uma tabela no item "comparação".

Capítulo 2

DESENVOLVIMENTO ANALÍTICO

- 2.1 Procedimento matemático
  - 2.1.1 Programação linear
  - 2.1.2 Programação inteira
  
- 2.2 Programa para computadores

## 2.1 PROCEDIMENTO MATEMÁTICO

### 2.1.1 Programação Linear

Basicamente, trata-se de uma adaptação do algoritmo simplex revisado a um problema de transporte.

Recordemos que o problema é: Um produto deve ser enviado em quantidades  $B_k$  de cada um dos  $I$  pontos de oferta e recebido em quantidades  $DMA_m$  por cada um dos  $J$  pontos de demanda.

O problema inicial é achar uma solução básica viável.

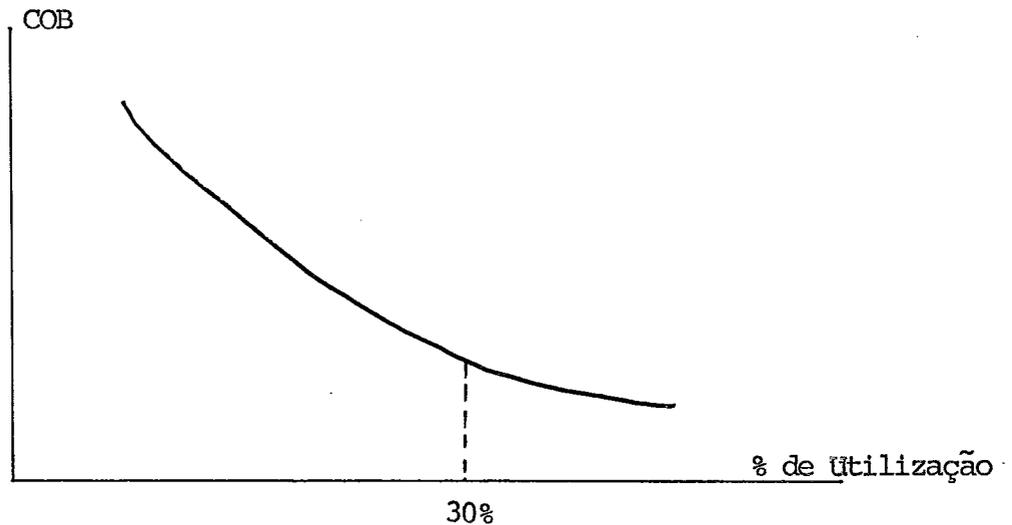
O LPS(2.2) realiza a operação de achar uma solução inicial. Esta é a parte de computo mais demorada.

Após termos essa primeira alocação viável aplica-se (pelo LPS) o simplex revisado para obtermos finalmente os valores ótimos.

Não entraremos em detalhes sobre o algoritmo simplex por ser este procedimento matemático amplamente divulgado em qualquer livro de pesquisa operacional.

### 2.1.2 Programação Inteira

Uma parte de todo problema de transporte é saber quais pontos de oferta deverão continuar existindo ou não. Por exemplo, poderemos supor que para uma utilização de 30%, ou menos, da capacidade de armazenamento de um ponto de oferta, os custos passem a ser tão elevados (problema de economia de escala) que não seja conveniente continuar operando nesse ponto.



Poderemos ainda supor que, por questões político-administrativas, seja conveniente não utilizar um depósito qualquer.

Quando acontecem esses problemas, se faz necessária a utilização de um modelo derivado do modelo de programação linear. Serão introduzidas, neste novo modelo, variáveis de decisão cujos valores serão: "sim" ou "não", ou matematicamente falando 0 ou 1.

O modelo para programação inteira 0-1 é o seguinte:

$$\text{minimizar } \sum_{k=1}^L \sum_{m=1}^J C_{km} \cdot QB_{km} + \sum_{k=1}^L P_k \cdot Z_k$$

$$\text{sujeito a } \sum_{k=1}^L QB_{km} = DMA_m \quad p/m = 0,1, \dots, J$$

$$\sum_{m=0,1}^J QB_{km} = B_k \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

$$(i) \quad 0 \leq Y_k \leq 1 \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

$$QB_{km} \geq 0 \quad p/m = 0,1, \dots, J$$

$$B_k \geq 0 \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

$$(ii) \quad B_k \leq Y_k \left( EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k \right) \cdot M \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

$$(iii) \quad 0,3 Y_k \left( EU_k \cdot \frac{1}{TC_k} - DF_k \right) - B_k \leq 0 \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

onde

$$Y_k = \begin{cases} -1 & \text{se a base operar acima de 30\% de sua capacidade} \\ -0 & \text{se a base não operar} \end{cases}$$

$$Z_k = 1 - Y_k \quad p/k = 0,1, \dots, L$$

A segunda porção da função objetivo apresenta a somatória das penalidades ou custos a que está sujeita a função objetivo, se as bases que deveriam ser fechadas continuarem funcionando com movimentação  $B_k$ .

Como não tínhamos disponível nenhum algoritmo de programação inteira mas somente o LPS, procedemos da seguinte maneira:

- i) Obtivemos a solução do modelo sem restrição de utilização da base ou não.
- ii) As bases que tiveram movimentação abaixo de 30% de sua capacidade máxima foram eliminadas e nova solução encontrada.  
Isso foi feito para cada base separadamente.
- iii) Não colocamos as penalidades  $P_k$  na função objetivo.

Esses valores  $P_k$  são de difícil obtenção e portanto só devem ser usados após os resultados isentos dessas penalidades, para comparação de custos.

#### Observação:

Nota-se pelo comportamento da curva de custos operacionais que se fosse permitida a movimentação de 30% ou menos da capacidade de movimentação total, teremos um problema de programação não linear o que certamente, face a dificuldade de obtenção precisa dessa curva, dificultaria a obtenção de uma solução ótima.

Num problema um pouco mais completo poderíamos estudar a solução ótima, supondo a necessidade de construção de mais um ponto de oferta, ou seja: Suponhamos que  $\sum_{k=1}^L B_k < \sum_{m=1}^J DMA_m$  então precisaríamos construir uma nova base com custos de investimentos  $CI_k$  e custos de transporte (custo total)  $C_{k,m}$ . Assim nossa nova função objetivo seria:

$$\begin{aligned} \text{minimizar} \quad & \sum_{k=1}^L \sum_{m=1}^J C_{k,m} \cdot QB_{k,m} \cdot + \sum_{k=1}^L P_k \cdot Z_k + \sum_{k=1}^{L+N} CI_k \cdot \\ & \cdot W_k + \sum_{k=L}^{L+N} \sum_{m=1}^J C_{k,m} \cdot QB_{k,m} \cdot W_k \end{aligned}$$

onde  $W_k = 1$  se a base for construída.  
0 caso contrário.

## 2.2 PROGRAMA PARA COMPUTADORES

Foi em 1952 que o primeiro algoritmo para resolução de problemas de programação linear foi implantado em um computador digital.

Hoje em dia, temos porém, vários algoritmos implantados em quase todos os tipos de computadores.

Para resolução do nosso problema de transporte utilizou-se o programa LPS (Linear Programming System) em um IBM 360/30, 64K.

A seguir apresentamos o LPS.

O procedimento para introdução de um problema de programação linear pelo LPS é o seguinte:

INPUT - Lê os dados de entrada (matriz e limites) e guarda o problema no disco. A matriz descreve as relações lineares entre as diversas variáveis e com a função objetivo.

Obs.: A matriz pode conter alternadas funções objetivos. O grupo de limites pode conter alternados limites.

SUMMARY - Apresenta uma listagem completa de linhas e colunas e o número de elementos em cada uma.

MOVE - Lê especificações ou nome. Por exemplo: lê o nome dos limites e da função objetivo que será maximizada ou minimizada.

OPTIMIZA - Computa o máximo ou mínimo valor da função objetivo conforme o problema dado.

TITLE - Providencia cabeçários para as páginas de out-put.

LPSOLUTION - Prepara o relatório da solução com os valores de função objetivo, limites, etc...

END - Termina uma corrida.

A figura abaixo mostra como é a sequência de cartões para se obter uma corrida do LPS a fim de (por ex. :) minimizar custos.

```
END  
LP SOLUTION  
OPTIMIZE  
ENDATA  
BOUNDS ...  
MINIMIZE  
MOVE  
ENDATA
```

Matriz com custos, variaveis, função ob- jetivo, <u>li</u> mites
---

```
INPUT
```

Adiante, apresentaremos nossa seqüência de instruções inclusive com geração em disco.

### ANÁLISE POSOPTIMAL - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Este procedimento é usado para determinar os efeitos da mudança de limites, ou valores das variáveis, sobre a solução ótima.

LP ANALYSIS - Determina os efeitos das variações de limites, custos, variáveis, etc...

Apresenta: 1 - O custo por mudança de uma unidade nas variáveis.

2 - A variação permitida aos custos sem que o valor da variável altere-se, e, o valor que a variável deve assumir se o custo tiver uma variação maior que a permitida.

LP PARAMÉTRICO - Investiga o efeito dessas mudanças em problemas de inteiros.

### ALTERAÇÃO DE DADOS

Esse procedimento evita um input de uma nova matriz. Mantém a solução do problema original em disco e então modifica os valores desejados e

continua a resolução.

MODIFY - Lê os valores a serem alterados. Essas alterações são temporárias e não modificam o problema original.

São esses os principais itens que utilizaremos. Existem porém uma série de outros de grande utilidade que podem ser visto no manual da IBM.

### 2.2.1 Capacidade do LPS

Para o uso em um 64K.

O LPS pode processar um problema com 1.500 linhas.

A seguir uma tabela, exemplo do número de trilhas de um disco 2311 necessárias para armazenagem do input e solução em função do número de linhas e colunas.

<u>Linhas</u>	<u>Colunas</u>	<u>Nº de não zeros por coluna</u>	<u>Número de trabalho</u>	
			<u>input</u>	<u>solução</u>
100	200	6	9	24-31
100	200	12	15	33-62
250	500	10	32	75-150
700	1.000	5	44	127-178

O máximo número de trilhas que dispomos em um 64K é 1995-2311 (1140 - 2314).

### Tempo de processamento

A seguir apresentamos uma tabela com tempo estimado de processamento.

Nº de linhas	Nº de colunas	Tempo (em horas) estimado ( sem fornecer solução inicial)		
50	75	.1	-	.4
100	150	.15	-	.6
200	250	.25	-	1.
300	400	.5	-	1.75
500	600	1.5	-	3.5
1.000	1.200	4.	-	8.
1.500	2.000	8.	-	15.

#### 2.2.2 Entrada do problema

Falamos a respeito de linhas e colunas cujo conceito é a qui definido.

$$\text{Seja } RV = CV_1 + CV_2 + CV_3 + \dots + CV_n$$

Chamamos de RV (variável à esquerda) de "variável linha" e CV (variável não à esquerda) de "variável coluna". Pode ocorrer de "variável linha" aparecer no lado direito, porém, não "variável coluna" do lado esquerdo.

Nota : Não pode existir:

$RV_1 + RV_2$  do lado esquerdo

RV em duas ou mais equações

RV com coeficientes diferente de 1

A seguir, apresentamos os campos para cada tipo de cartão de entrada.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
NAME														HERMANN																								

nomeia o file

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
				Q	B	0	1	0	1					F	Ø	Q	E									C	0	1	0	1									
				Q	B	0	1	0	2					F	Ø	Q	E									C	0	1	0	2									
				:										:											:														
				Q	B	0	2	0	1					F	Ø	Q	E									C	0	2	0	1									
				Q	B	0	2	0	2					F	Ø	Q	E									C	0	2	0	2									
				:										:											:														
				Q	B	0	3	0	1					F	Ø	Q	E									C	0	3	0	1									
				:										:											:														
				:										:											:														
				Q	B	(1)								F	Ø	Q	E									C	(1)	(J)											

definem  $FØQE = \sum_{k=01}^L \sum_{m=01}^J C_{k,m} QB_{k,m}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
				Q	B	0	1	0	1					D	M	A	0	1										1	.	0										
				Q	B	0	2	0	1					D	M	A	0	1											1	.	0									
				:										:												:														
				Q	B	(1)	0	1						D	M	A	0	1											1	.	0									
				Q	B	0	1	0	2					D	M	A	0	2												1	.	0								
				:										:												:														
				:										:											:															
				Q	B	0	1	(J)						D	M	A	(J)													1	.	0								
				:										:											:															
				Q	B	(1)	(J)							D	M	A	(J)													1	.	0								

definem  $\sum_{k=01}^L QB_{k,m} = DMA_m \quad p/m= 01, \dots, J$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
				Q	B	0	1	0	1						B	0	1												1	.	0								
				Q	B	0	1	0	2						B	0	1												1	.	0								
				⋮											⋮													⋮											
				Q	B	0	1	(J)							B	0	1											1	.	0									
				Q	B	0	2	0	1						B	0	2											1	.	0									
				⋮											⋮													⋮											
				⋮											⋮													⋮											
				Q	B	(1)	(J)								B	(1)												1	.	0									

$$\sum_{m \neq 01}^J QB_{k,m} = B_k \quad p/k = 01, \dots, L$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
	L	B		H	E	R	M	A	N	N					Q	B	0	1	0	1									0	.	0								
	⋮			⋮											⋮													⋮											
	L	B		H	E	R	M	A	N	N					Q	B	0	1	(J)										0	.	0								
	⋮			⋮											⋮													⋮											
	⋮			⋮											⋮													⋮											
	L	B		H	E	R	M	A	N	N					Q	B	(1)	(J)											0	.	0								

$$QB_{k,m} \geq 0$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
	L	B		H	E	R	M	A	N	N					B	0	1												0	.	0								
	⋮			⋮											⋮													⋮											
	⋮			⋮											⋮													⋮											
	⋮			⋮											⋮													⋮											
	L	B		H	E	R	M	A	N	N					B	(1)													0	.	0								

$$B_k \geq 0$$

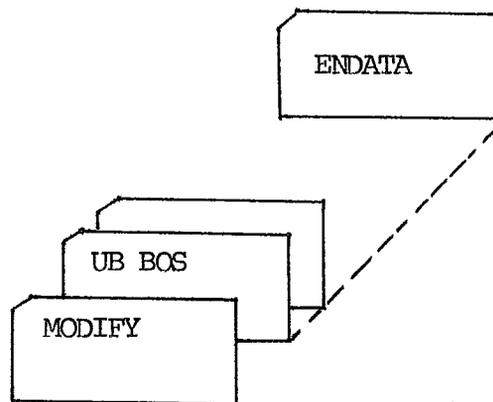


Essa forma de entrada do modelo é padrão para o LPS. Temos ainda a possibilidade de inserir um cartão que indica uma variável livre.

### 2.2.3 Entrada da Programação 0.1

Como não tínhamos necessidade de usar penalidades e também investimentos, <sup>podemos</sup> podemos introduzir a inteiro 0-1 usando somente o cartão MODIFY.

Poderíamos fazer um programa Fortran que lê-se os resultados, compara-se, e entra-se com cartões MODIFY. Isto porém em se tratando de um problema com poucas fontes torna-se mais dispendioso que uma análise manual. Optamos pela última e após a análise, introduzimos o "grupo" de cartões Modify, como segue.



#### 2.2.4 Análise do Out-Put

Seria interessante saber-se quais as possibilidades de análise da saída do LPS. Porém por comodidade do leitor que já está com o nosso problema "quente" na cabeça, analisaremos o out-put do nosso trabalho. Isso porém será feito no capítulo "Análise dos Resultados".

#### 2.2.5 Comentários

Nada falamos a respeito de cartões controle e muito menos do programa gerador de dados.

Todos os detalhes, cremos, podem ser vistos e entendidos na apresentação anexa da listagem do trabalho.

Foi usado o fortran básico e os cartões de controle necessários ao LPS e ao DOS.

## Capítulo 3

### OBTENÇÃO DE DADOS

- 3.1 Códigos
- 3.2 Preço do produto colocado na base
- 3.3 Custo de Operação da base
- 3.4 Custo de Frete Total
- 3.5 Produção das bases
- 3.6 Demanda dos aeroportos

3.1 CÓDIGOS

Em face a utilização do LPS usaremos por facilidades o código abaixo. Foram clasificados alguns aeroportos e bases que só trabalham com AVGAS e não com AVJET. Isso deverá ser considerado para que futuros trabalhos nos venham a confundir o leitor e usuário.

CÓDIGO

<u>Base</u>	<u>Cia</u>	<u>LPS</u>	<u>Aeroporto</u>	<u>Cia</u>	<u>LPS</u>
Manaus	-	01	Ponta Pelade	5625	01
Miramar	5958	02	Val de Cans	5635	02
Itagui	-	03	Carolina	5631	03
Mucuripi	5959	04	Pinto Martins	5624	04
Recife	5912	05	Teresina	5630	05
Salvador	5960	06	Guararapes	5620	06
B.Horizonte	5913	07	Palmares	5622	07
Ilha do Gov.	5932	08	Dois de Julho	5615	08
Ipiranga	5936	09	Ilheus	5621	09
Santos	5979	10	B.J. da Lapa	5612	10
Paulínea	5966	11	Pampulha	5623	11
Esteio	5924	12	Brasilia	5663	12
Anápolis	5903	13	Galão	5617	13
C. Grande	5917	14	S.Dumont	5629	14
			Jacarepagua	5651	15
			Campo dos Afons.	-	16
			Goiaberas	5618	17
			S.J.dos Campos	5674	18

	<u>CÓDIGO</u>	
<u>Aeroporto</u>	<u>Cia</u>	<u>LPS</u>
Congonhas	5665	19
Afonso Pena	5660	20
Viracopos	5679	21
Uberaba	5676	22
Goiania	5668	23
P.Nacional	5673	24
Cuiabá		25
Londrina	5671	26
Pirassinunga	5672	27
S.J.do Rio Preto	5675	28
Salgado Filho	5627	29
Itajai	5638	30
Florianopolis	5669	31
Erechim	5616	32
S.Maria	5680	33
Gravatá	5619	34
Foz do Iguaçu	5667	35
Fregues S.Luiz	5632	36
Fregues C.Grande	5664	37

### 3.2 PREÇO DO PRODUTO COLOCADO NA BASE

Sabe-se que o preço faturado pela Petrobrás , é de Cr\$ 0,507/litro.

Não consideraremos o produto com Duty Free.

Esse preço é o mesmo para todas as bases, a menos de BIP. Em Ipiranga (BIP) temos que acrescentar o custo de transferência por caminhão-tanque, custo este não ressarcido pela Petrobrás.

temos :

Transferência Paulínea - BIP - Cr\$ 25,43/m<sup>3</sup>

Transferência Santos - BIP - Cr\$ 25,00/m<sup>3</sup>

Passaremos portanto (como realmente acontece) a definir o custo do produto colocado na base de Ipiranga como

$$CPB_{BIB} = 0,507 \times 1000 + 25,00 = 507,00 + 25,00 = \text{Cr\$ } 532,00/\text{m}^3$$

Para as demais bases o custo será Cr\$ 507,00/m<sup>3</sup>

ou seja :  $CPB_{kEK} = \text{Cr\$ } 507,00$

onde  $Z = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12$

\* Temos porém em algumas bases um valor diferente para o produto colocado, devido a custos de bombeamento. Esses custos porém, achamos mais interessante coloca-los em  $COB_k$ .

### 3.3. CUSTO DE OPERAÇÃO DA BASE

São esses, os valores cuja obtenção precisa é a mais difícil.

Sugere-se um estudo mais aprofundado para obtenção real dos mesmos.

Para o nosso problema, em particular, não havia muita necessidade de uma precisão grande, porém para futuros estudos isto certamente será imprescindível.

Com a utilização do relatório de despesas e receitas das bases (CARE) construiu-se varios gráficos, na tentativa de descobrir alguma relação que nos fosse útil na determinação desses custos.

Os gráficos construidos foram :

- custo de movimentação x movimentação
- despesa de manuzeio x despesa de administração
- custo de movimentação x despesa de manuzeio
- despesa de manuzeio x total de despesas

em todos despresamos os custos e as movimentações com terceiros.

Como não se obteve algum resultado positivo para comparação e relação decidiu-se retirar os valores do projeto "Tarifas". Utilizamos os valores relativos a coluna "Despesa de Manuzeio" e ao grupo 23 (quando não existia grupo 23 trabalhou-se com o grupo 21), pela semelhança de operações, etc. Em bases de companhias congeneres onde operamos, foi usado como custo operacional e valor da taxa de operação paga áquelas.

A seguir apresentamos o quadro resultante da nossa pesquisa.

NOTA : 1) Tanto CARE como "Tarifas" os valores foram do 1º semestre de 74.

Entretanto as taxas pagas foram retiradas de tabelas elaboradas em 1973, para vigencia 1974, no primeiro semestre.

<u>BASE</u>	<u>COBk</u>
Cr\$/m3	
01 Manaus	4,20
02 Miramar	4,10
03 Itagui	3,90
04 Mucuripi	9,14
05 Recife	9,24
06 Salvador	3,38
07 B. Horizonte	1,82
08 I. Governador	2,93
09 Ipiranga	6,45
10 Santos	6,54
11 Paulinea	2,00
12 Esteio	2,43

O valor de COB para Miramar foi obtido por aproximação.  
 - já estão considerados custos de bombeamento.

### 3.4 CUSTO DE FRETE TOTAL

O levantamento desses custos foi trabalhoso e extremamente demorado.

Inicialmente possuíamos o frete total para um número reduzido de rotas, dados estes já em utilização para rotas atualmente utilizadas.

#### 3.4.1 "Matriz de Distancias"

A primeira providencia foi construir uma matriz de distancia (ver 1.4 i i i )

As distancias foram obtidas por somatória de distancias pequenas, do mapa rodoviario da revista quatro rodas.

O estado de cada rota foi verificado em mapas oficiais fornecidos pelo DNER.

Para rotas iniciando ou findando em Manaus considerou-se distancia  $\infty$  (anexo 1 ).

### 3.4.2 "Frete unitarios"

Não existe um único frete unitário para cada base. Isso nos obrigou a escolher "fretes unitários" por base por direção seguida.

De algumas bases para algumas direções, não possuíamos nenhuma indicação do frete.

Um outro fato que deve ser ressaltado é que, de posse da matriz de distancia, com a indicação do trecho de cada rota sem asfalto, acrescentamos percentagens variadas, porém estudadas, para o cálculo do frete.

Não convém discutirmos isso em detalhes pois, como cada caso foi visto separadamente, isso iria nos tomar muito tempo desnecessariamente.

### 3.4.3 " Frete Total "

Não chegamos a construir uma matriz de frete unitário pois achamos mais simples montar diretamente a matriz final de frete.

Para cada caso fizemos :

- ou 1) um frete já utilizado
- 2) uma regra de tres com um frete já conhecido
- 3) uma inversão de direção da rota.

Para rotas começando ou terminando em Manaus, consideramos o valor 999.99 para representar  $\infty$

3.5 PRODUÇÃO DAS BASES

Como já falou-se em 1.3.2 o limite de Bk será dado por  $EU_k \cdot \frac{1}{TCK} - DF_k$

Sabe-se que a armazenagem que se possui é a seguinte:

<u>BASE</u>	<u>TANQUE</u> (m3 )	<u>ARQUEAÇÃO</u> (m3 )	<u>SEGURANÇA</u> (m3 )	<u>OPERACIONAL</u> EUK ( m3 )
Manaus	-----	-----	-----	800
Miramar	1200	1207	1146	1112
Itagui	-----	-----	-----	200
Mucuripi	1300	1307	1241	1203
Recife	3000	2978	2829	2744
Salvador	1150 (em construção)			= 1058
B.Horizon.	(direto da Petrobras) não tem limite			
I. Governador	9000	8623	8191	(7945-500)= 7445
Ipiranga	1200	1205	1144	1109
Santos	6265	6238	5900	5196
Paulinea	1575 (dobrarã até final do ano)			1449
Esteio	2400	2356	2238	2171

-Obtenção do tempo entre chegadas -

Foi feito em conjunto com outro trabalho ( e por isso não é aqui apresentado) um levantamento de duas fitas de movimentação de produto que nos dão data de chegada, volume chegado do produto e volume de saída.

Da listagem que se obteve apresenta movimentação utilizamos os dados de janeiro 74 a julho.

Esta listagem foi obtida por uso do Mark IV do qual faremos.

Após seleção manual dos valores que deveriam ser considerados obtivemos os seguintes números para Tck.

Tempo (dias)      Tempo (dias)      Tempo (dias )

BASE	MÍNIMO	MÉDIO	MAXIMO
Manaus	4	7	28
Miramar	2	16	41
Itagui	2	16	41
Mucuripi	6	28	37
Recife	4	25	38
Salvador	1	5	15
B.Horizonte	5	20	42
Ilha Governador	2	11	19
Ipiranga	1	6	21
Santos	1	4	25
Paulinea	1	5	15
Esteio	4	15	28

De algumas bases não possuímos o tempo entre chegadas.

Isso nos obrigou a utilizar os mesmos valores de outras bases com característica semelhante. Assim

Itagui ←———— Miramar  
 Manaus ←———— Esteio  
 Salvador ←———— Paulinea

A demanda por fregues foi obtida de um levantamento por Mark IV (o mesmo para DMAm , de que falaremos adiante( de fitas de venda de fevereiro a maio de 1974).

Da listagem obtida foram extraídos os dados de  $DF_k$  .

	<u>BASE</u>	<u>DFk (m3/semana)</u>
02	Miramar	10,50
04	Mucuripi	21,90
08	Ilha Governador	0,67
09	Ipiranga	37,50

De posse de todos esses valores calculamos os valores limites de produção de cada base.

<u>BASE</u>	<u>Limites Superiores (m3/semana)</u>		
	<u>MÍNIMO</u>	<u>MÉDIO</u>	<u>MAXIMO</u>
01 Manaus	201.00	800.00	1400.00
02 Miramar	191.00	473.50	3892.00
03 Itagui	35.00	87.50	700.00
04 Mucuripi	227.00	279.00	1403.00
05 Recife	504.00	763.00	4802.00
06 Salvador	493.00	1477.00	7406.00
07 B.Horizonte			
08 I. Governador	2744.00	4739.00	26061.00
09 Ipiranga	371.00	1295.00	7763.00
10 Santos	1456.00	9096.00	36.372.00
11 Paulinea	735.00	2205.00	11.025.00
12 Esteio	546.00	1015.00	3801.00

Devemos notar que o limite superior máximo, médio e mínimo correspondem a menor, média e maior frequência de chegada do produto nas bases.

O leitor deve estar, certamente, desorientado quanto ao porque do m3/semana.

Escolheu-se trabalhar com semana como unidade de tempo pois :

- 1) Nenhuma tempo entre entradas do produto nas bases chega a 1 mes e tão pouco a 1 dia.
- 2) Por experiência adquirida, e por análise do comportamento da demanda, feita sobre a listagem do Mark IV sobre fita de vendas.

### 3.6 DEMANDA DOS AEROPORTOS

Os valores de demanda dos aeroportos foi obtido (assim como  $DF_k$ ) através da listagem, out put de um programa de Mark IV sobre as fitas (de vendas de fevereiro março, abril, maio de 1974).

NOTA : Sobre Mark IV faremos no Anexo II

Inicialmente usando normalmente Mark IV obtivemos um mapeamento das vendas, o qual tornava uma análise comportacional da demanda, muito demorada.

Com a utilização, porém, de um "campo temporário" conseguimos um resultado bem mais aceitavel e de mais facil observação (vide anexo II).

Após exaustiva analise chegou-se a conclusão que a demanda, apesar de diariamente ter grande variação, semanalmente se mantinha razoavelmente estável, ao ponto de se poder facilmente representa-la por um valor médio.

Os valores obtidos médios para as demandas dos aeroportos são :

	<u>AEROPORTO</u>	<u>DMAm (m3/semana)</u>
01	Ponta Pelada*	600.00
02	Val de Cans	359.52
03	Carolina	15.92
04	Pinto Martins	185.55
05	Terezina	56.71
06	Guararapes	534.05
07	Maceio+Marimbondo	5.17
08	Dois de Julho	247.81
09	Ilheus	30.50
10	B.J.da Lapa	8.67
11	Pampulha	29.38
12	Brazilia	633,53
13	Galeão	4006.60
14	Santos Dumont	227.24
15	Jacarepagua	0.00
16	Campos dos Afonsos	0.00
17	Goiaberas	93.57
18	S.J.dos Campos	13.79
19	Congonhas	1342.56
20	Afonso Pena	103.68
21	Viracopos	477.97
22	Uberaba	18.52
23	Goiania	9.55
24	Porto Nacional	12.62
25	Varzea Grande	3.78
26	Londrina	24.34
27	Pirassinunga	67.92
28	S.José do Rio Preto	0.00
29	Salgado Filho	509.52
30	Itajai	43.79
31	Florianopolis	87.76
32	Erechim	0.00
33	Santa Maria	0.00

AEROPORTODMAm (m3/semana)

34	Gravatá	0.00
35	Foz do Iguaçu	89.96

\*O valor 600.00 já é resultado de um novo contrato de fornecimento, assinado pela companhia.

- Limites inferiores -

Usamos, para as variáveis, a não negatividade como fator de limitação inferior

ou seja

$$B_K \geq 0 \quad Q_{B_{km}} \geq 0 \quad p/k = 1, \dots, L$$

$$p/m = 1, \dots, J$$

No entanto poderíamos utilizar o valor, de volume, do reboque de menor capacidade como limite inferior; e melhor ainda, alocando os caminhões em cada base e dando então os limites. Isso não só é extremamente trabalhoso como, em se tratando de semana, não influenciável.

## Capítulo 4

### RESOLUÇÃO COMPUTACIONAL

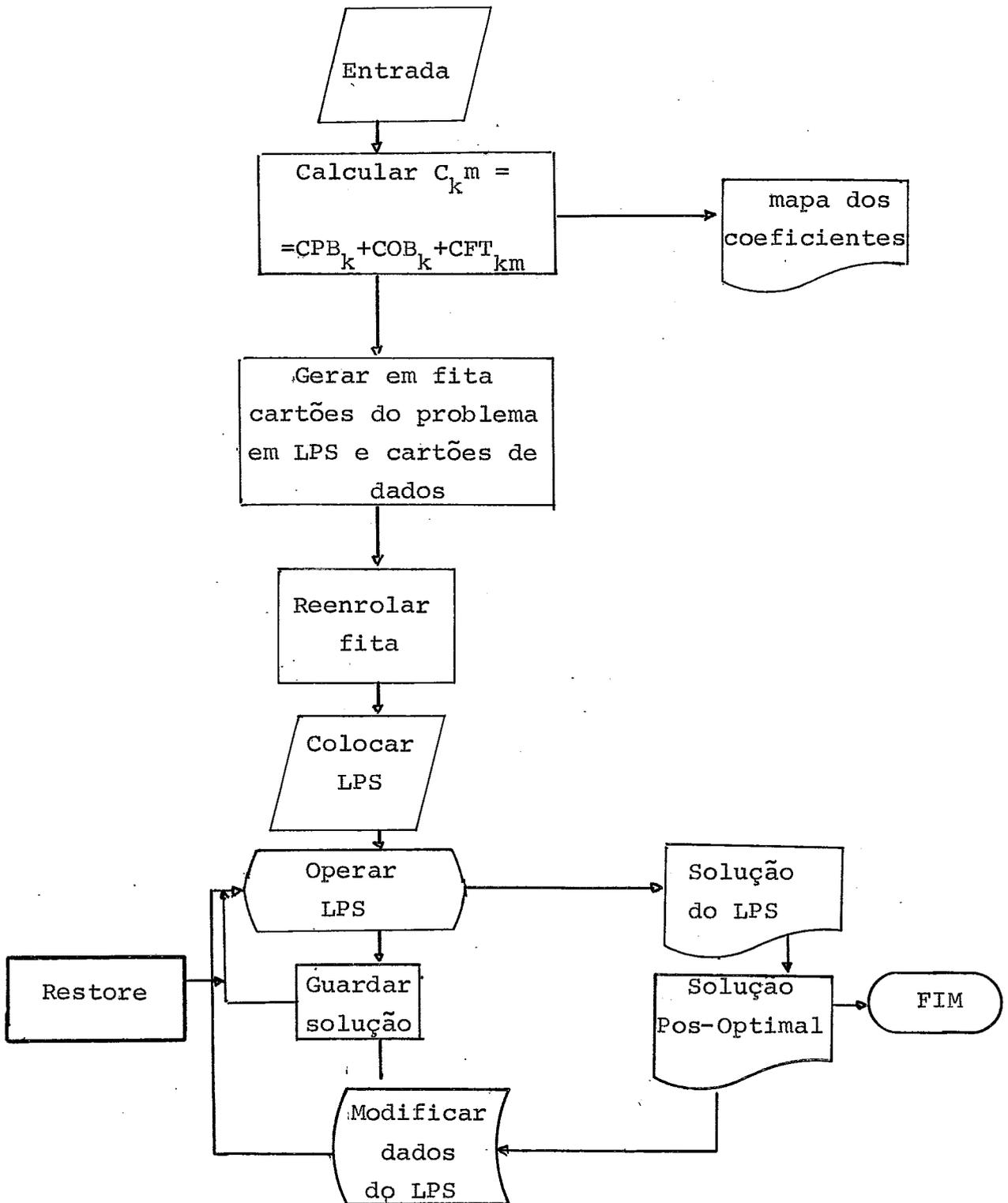
- 4.1 Introdução
- 4.2 Sequência de experimentos
- 4.3 Quadro Técnico
- 4.4 Aplicação da programação 0-1

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O que se fez e já se torna comum pela facilidade que oferece, foi a geração dos dados e cartões necessários ao LPS.

Essa geração foi feita em Fontran básico.

Em geral o programa era o seguinte :



Para usarmos a geração do problema, modificamos a forma do modelo ficando este :

$$\text{minimizar} \quad \text{FOQE} = \sum_{k=01}^L \sum_{m=01}^J C_{k.m} \cdot \text{QB}_{k.m}$$

sujeito a

$$1) \text{DMA}_m = \text{VDM}_m \quad (\text{VDM}_m = \text{valor da demanda})$$

$$2) \sum_{k=01}^L \text{QB}_{k.m} = \text{DMA}_m \quad p/m= 0,1 \dots \dots \dots , J$$

$$3) B_k = \sum_{m=01}^J \text{QB}_{km} \quad p/k= 0,1 \dots \dots \dots , L$$

$$4) B_k \leq \text{VLD}_k \quad (\text{VLD}_k = \text{valor limite})$$

$$5) \text{QB}_{k.m} \geq 0$$

$$6) B_k \geq 0$$

#### 4.2 SEQUENCIA DE EXPERIMENTOS

Realizamos varios experimentos com o modelo acima (vide 1.6) . Cada experimento é composto de "casos". Cada caso designaremos com uma letra. A sequência é a seguinte (referenciada ao modelo acima.

- Experimento 1 -

Caso a :- não há restrição de produção a menos de  
Manaus

-Custo de Operação das bases, COB= 1.0 para

todas as bases

-Frete - resultado de primeira matriz construída. (matriz construída usando frete unitário por base, igual para todas as direções)

Caso b: -Não há restrição de produção a menos de Manaus

-Custos operacionais das bases COB =1.0 para todas as bases

-Frete - matriz definitiva

Caso c: -Não há restrição de produção a menos de Manaus

-Custos operacionais calculados por base

-Frete - matriz definitiva

- Experimento 2 -

Caso d: -Modêlo completo usando valores médios

Caso e: -Modêlo completo

-Limites superiores para  $B_k$  com  $k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

são os mínimos.

Caso f: -modêlo completo

-fechou-se simultaneamente os pontos de oferta Santos e Belo Horizonte

\* } Caso g: -modêlo completo

-fechou-se Paulínea

Caso h: -modêlo completo

-fechou-se simultaneamente Paulínea e Santos

\* ver programação O-1 (4.4)

## 4.3

QUADRO TÉCNICO

Uma apresentação de detalhes técnicos quanto a fase de computação poderá ser útil ao leitor.

Caso	a	b	c	d	e	f	g	h
bytes memoria	20D6	20D6	20D6	21B2	"	"	"	"
compilação (MIN)	0.56	0.56	0.56	1.00	"	"	"	"
linhas	48	48	48	48	"	"	"	"
variaveis	468	468	468	468	"	"	"	"
elemento coluna	1260	1260	1260	1260	"	"	"	"
limites inferiores	467	467	467	467	"	"	"	"
limites superiores	36	36	36	47	"	"	"	"
nº de	108	108	116	113	+40	+57	113+18	+19
tempo de processo (h)	0.43.92	0.44.02	0.44.14	d+e+f=	1.39.34		d+g+h=	1.35.00

|-----| 1º experimento -----|
|-----| 2º experimento -----|

Outro ponto interessante é : como interage o LPS ou seja o quanto se aproxima o LPS da solução ótima diante do número de interações; e como determina o LPS o fim das interações.

Com o gráfico de valor da função objetivo x número de interações ( a seguir) podemos observar como trabalha o LPS.

Nota-se que o final do número de interações é feito no início do patamar.

Ve-se ainda que o número de interações é bem menor quando se parte de alguma solução viável. Sugere-se que para futuros projetos, determine-se manualmente uma primeira solução, quando possível. (se for um problema real usar a alocação real).

#### 4.4 APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO 0.1

Apos a análise manual do out-put verificou-se que a Base 06 fora trabalhar com menos que 30% de sua capacidade.

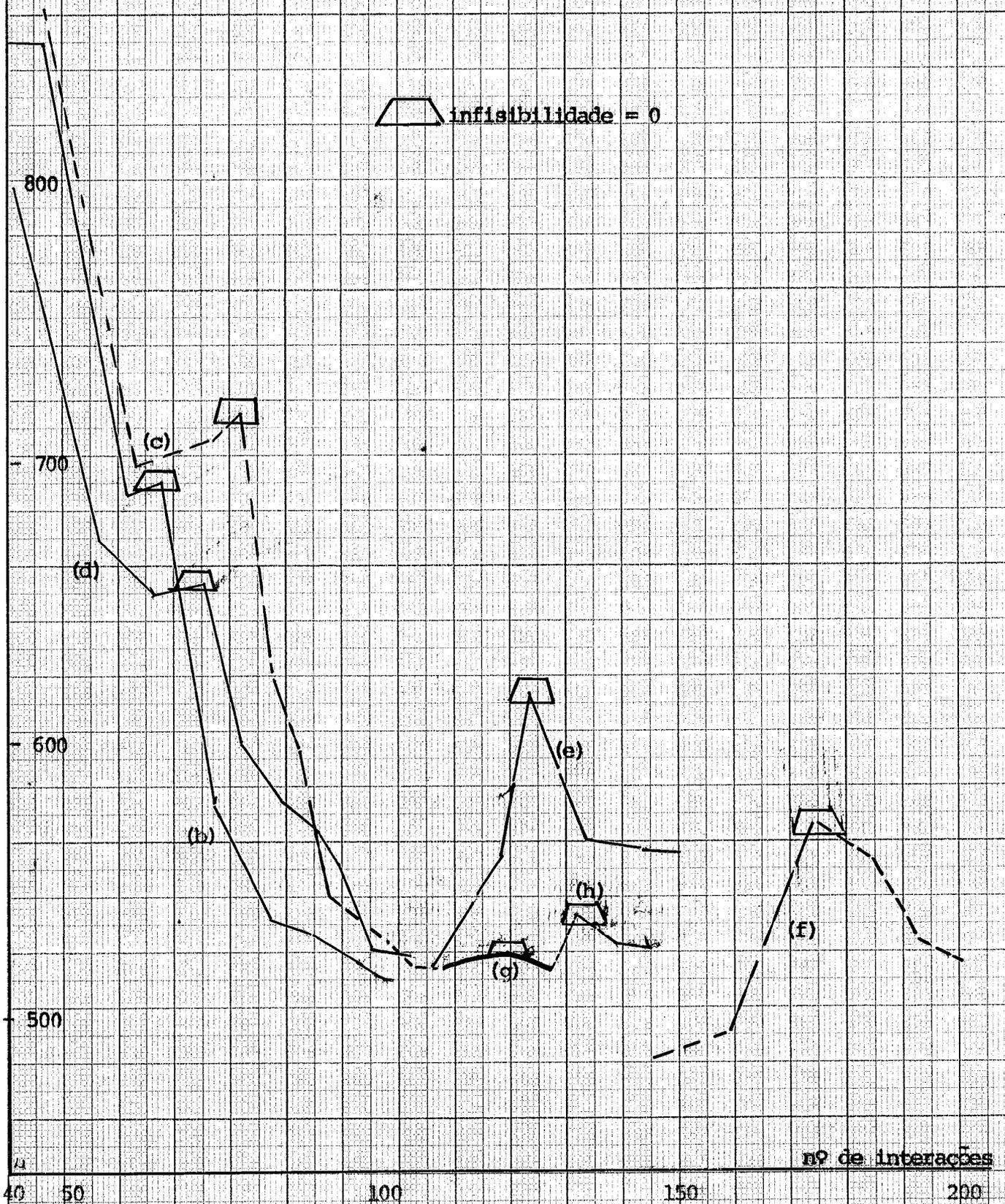
Entrou-se com o "grupo" de cartões MODIFY colocando essa base com movimentação igual a zero ou seja  $B_{06} = 0$ , ou seja eliminamos ou fechamos o ponto de abastecimento 06.

Esse é o experimento i

Da mesma forma operamos para os casos e, f, g, h com o fechamento de alguns de abastecimento. São portanto esses casos também típicos de programação 0.1, porém foram simulados para visualização de distribuições excepcionais, admitindo-se para cada caso a "quebra" de um ou mais pontos de oferta de produto.

valor da função objetivo

infisibilidade = 0

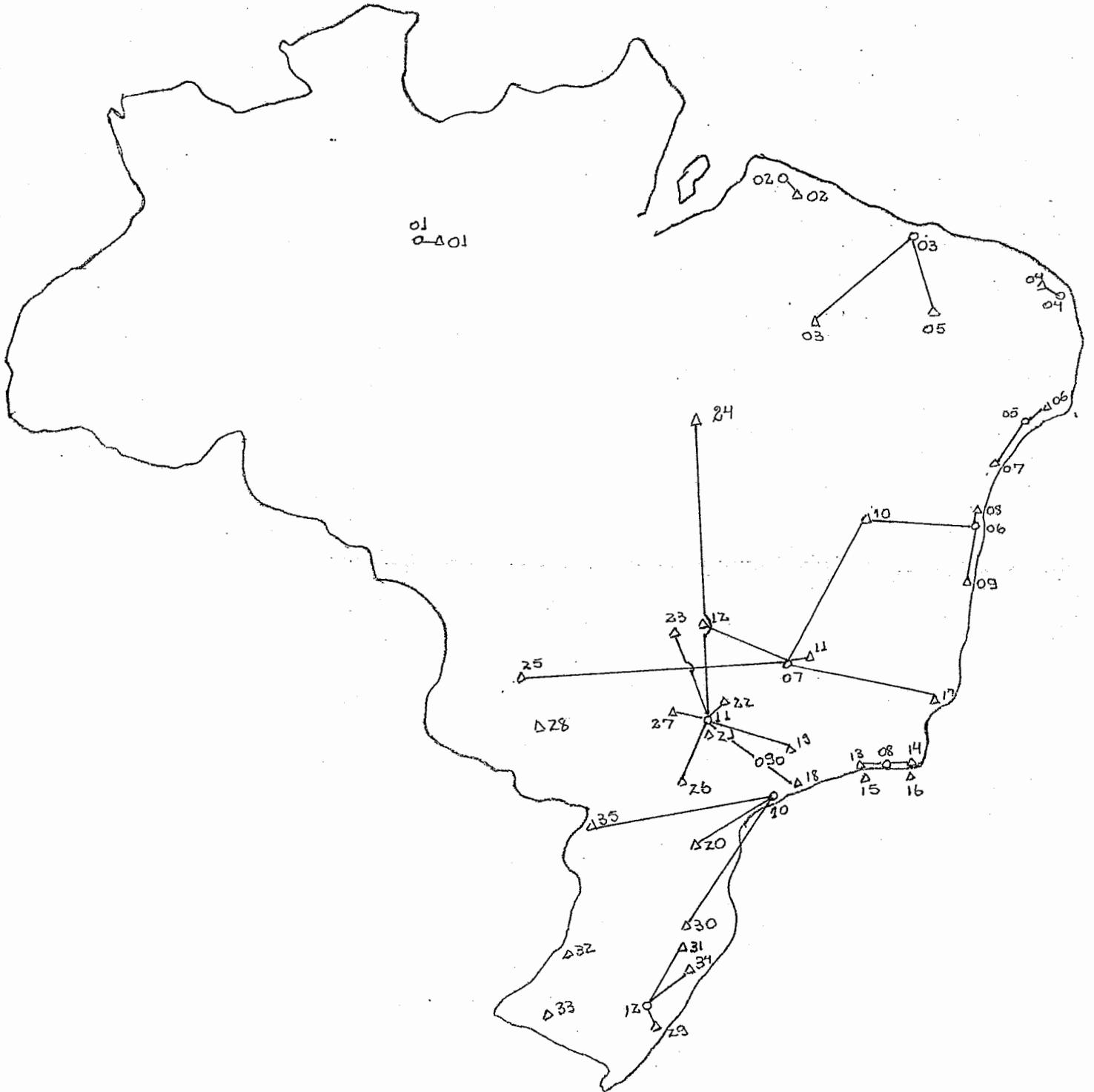


## Capítulo 5

### Análise dos Resultados

- 5.1 Mapas Geográficos com distribuições obtidas
- 5.2 O porque da sequencia de experimentos
- 5.3 Comparações entre rede otima, caso b, e caso c.
- 5.4 Análise dos "mapas" do computador
- 5.5 Análise de sensibilidade

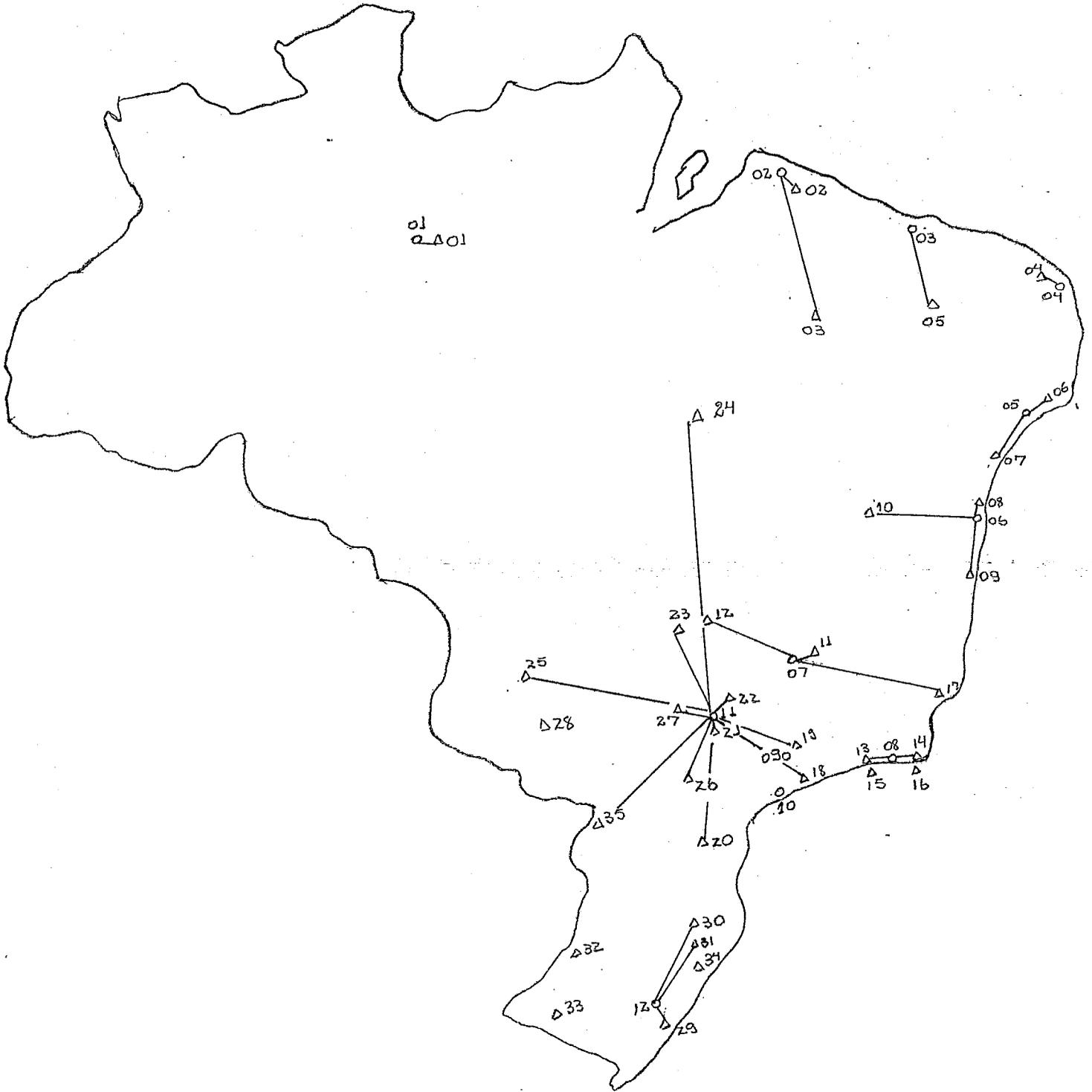
caso a



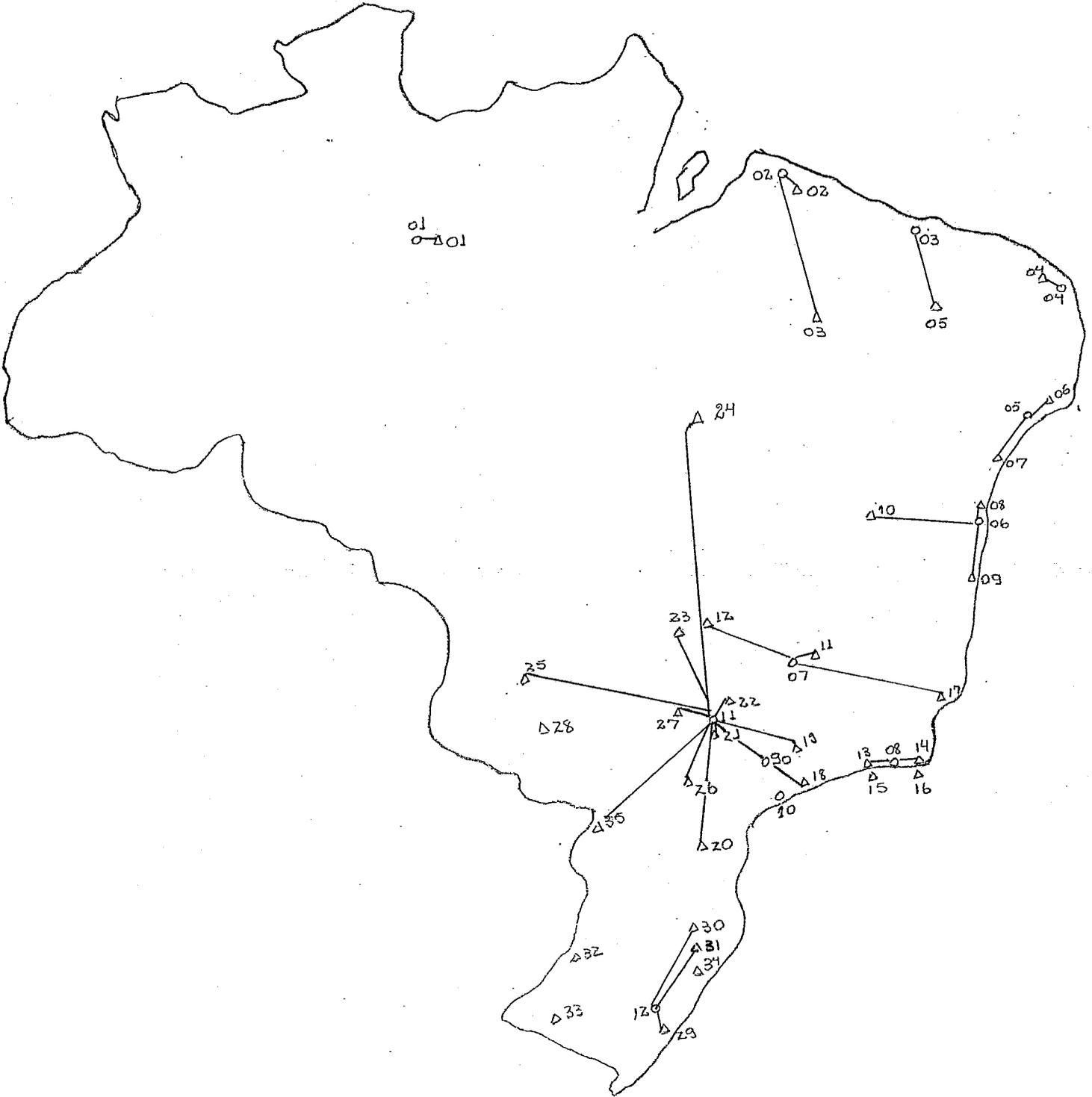
caso b



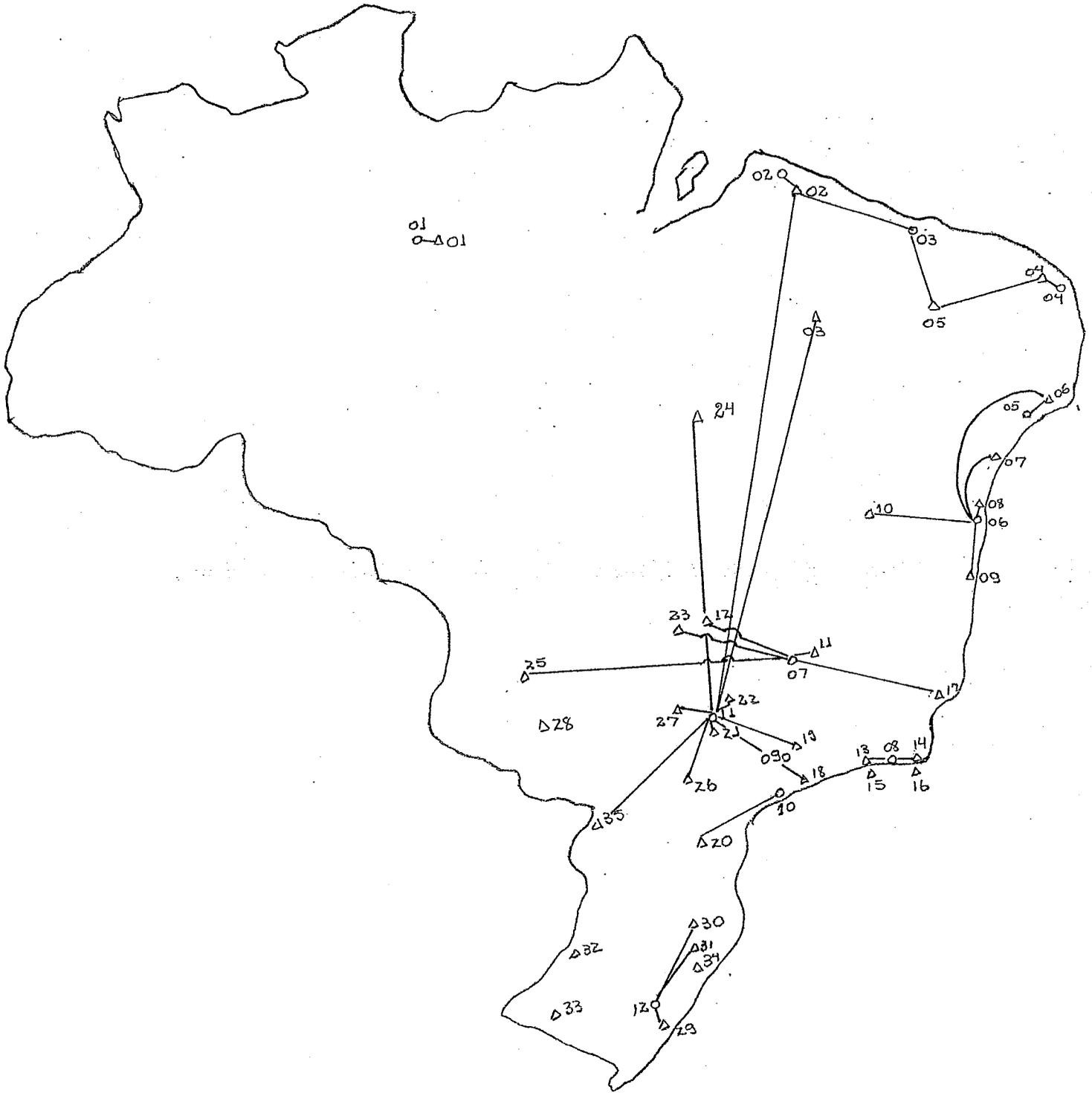
caso c



caso d



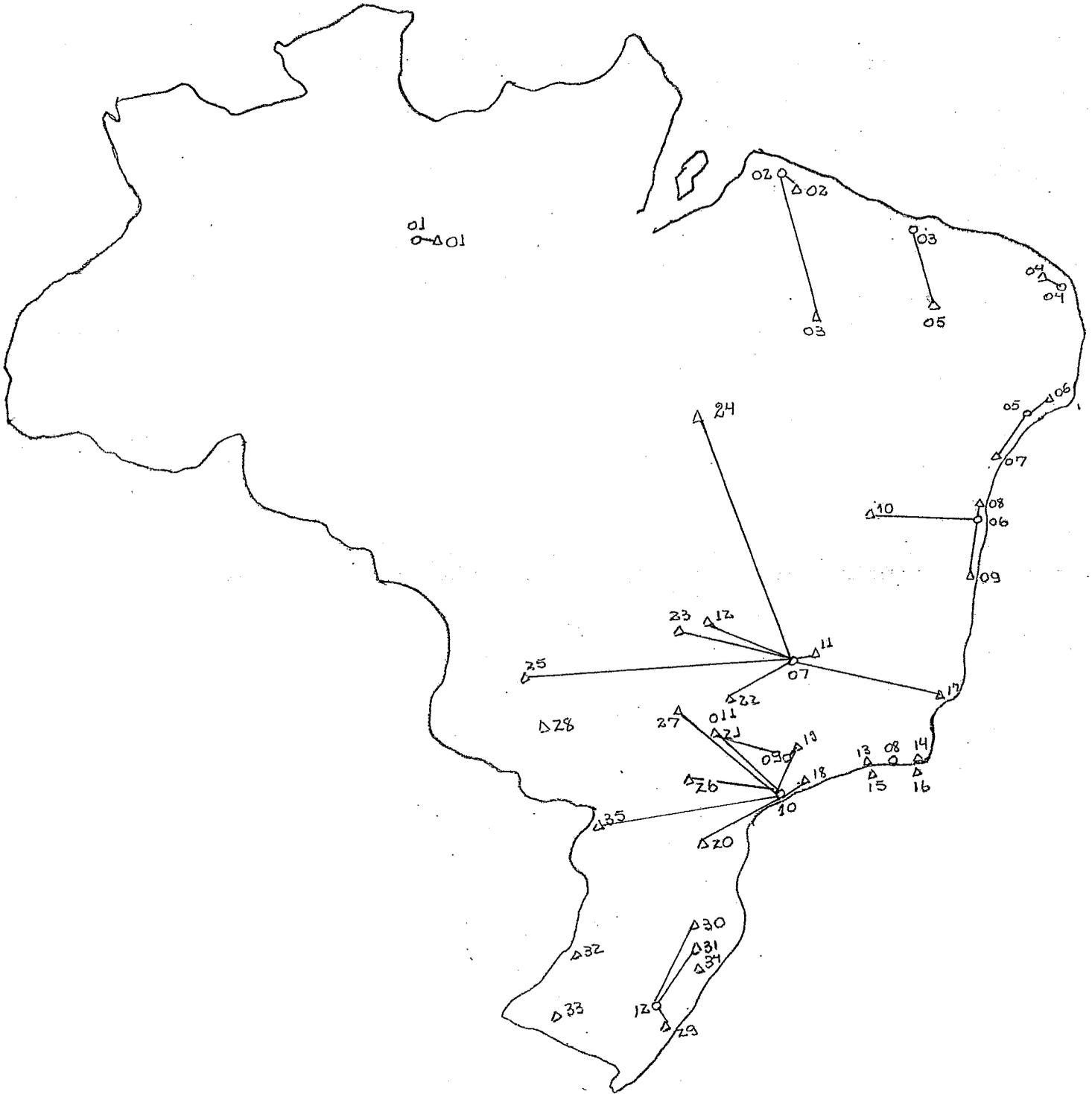
caso e



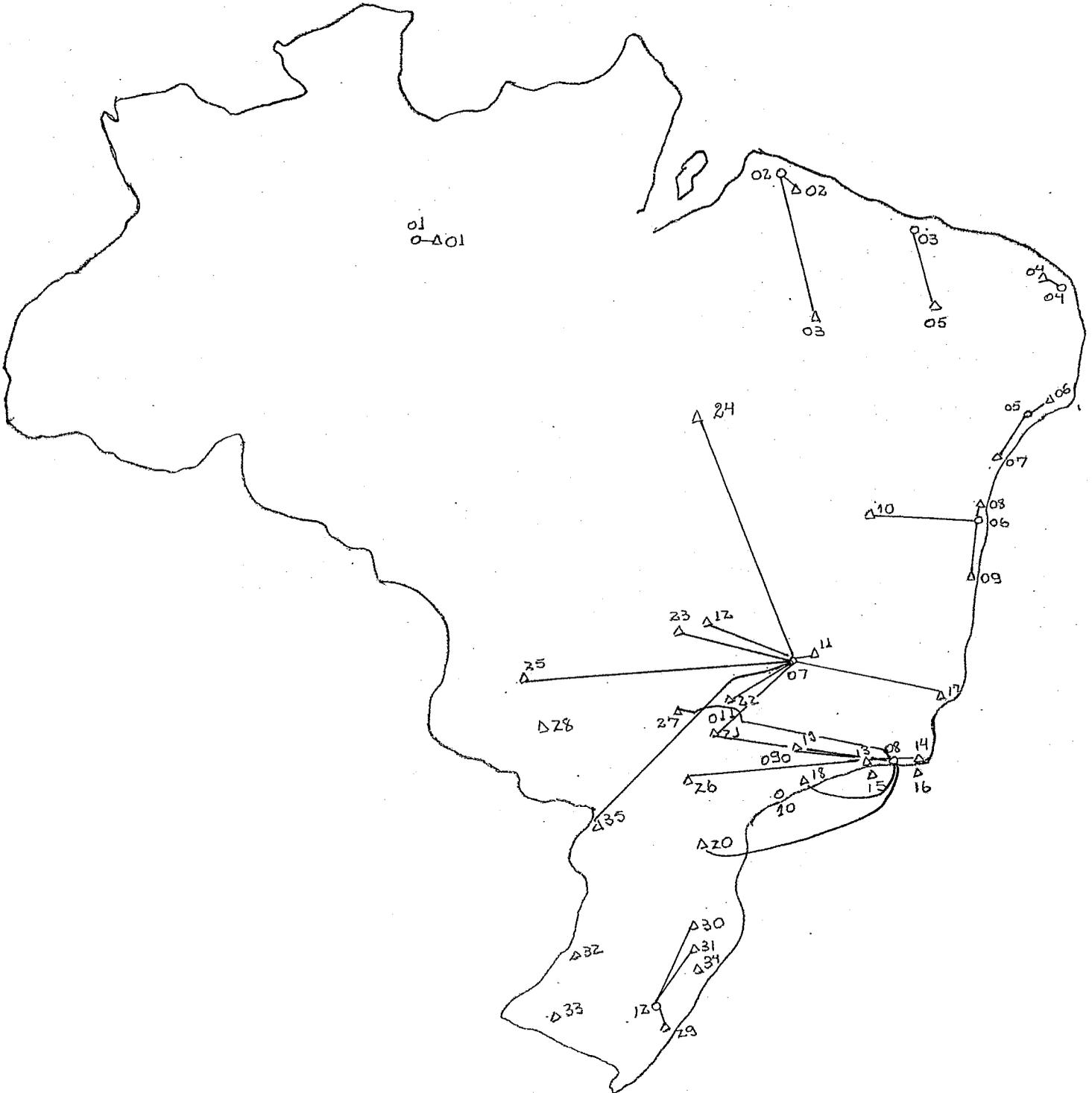
caso f



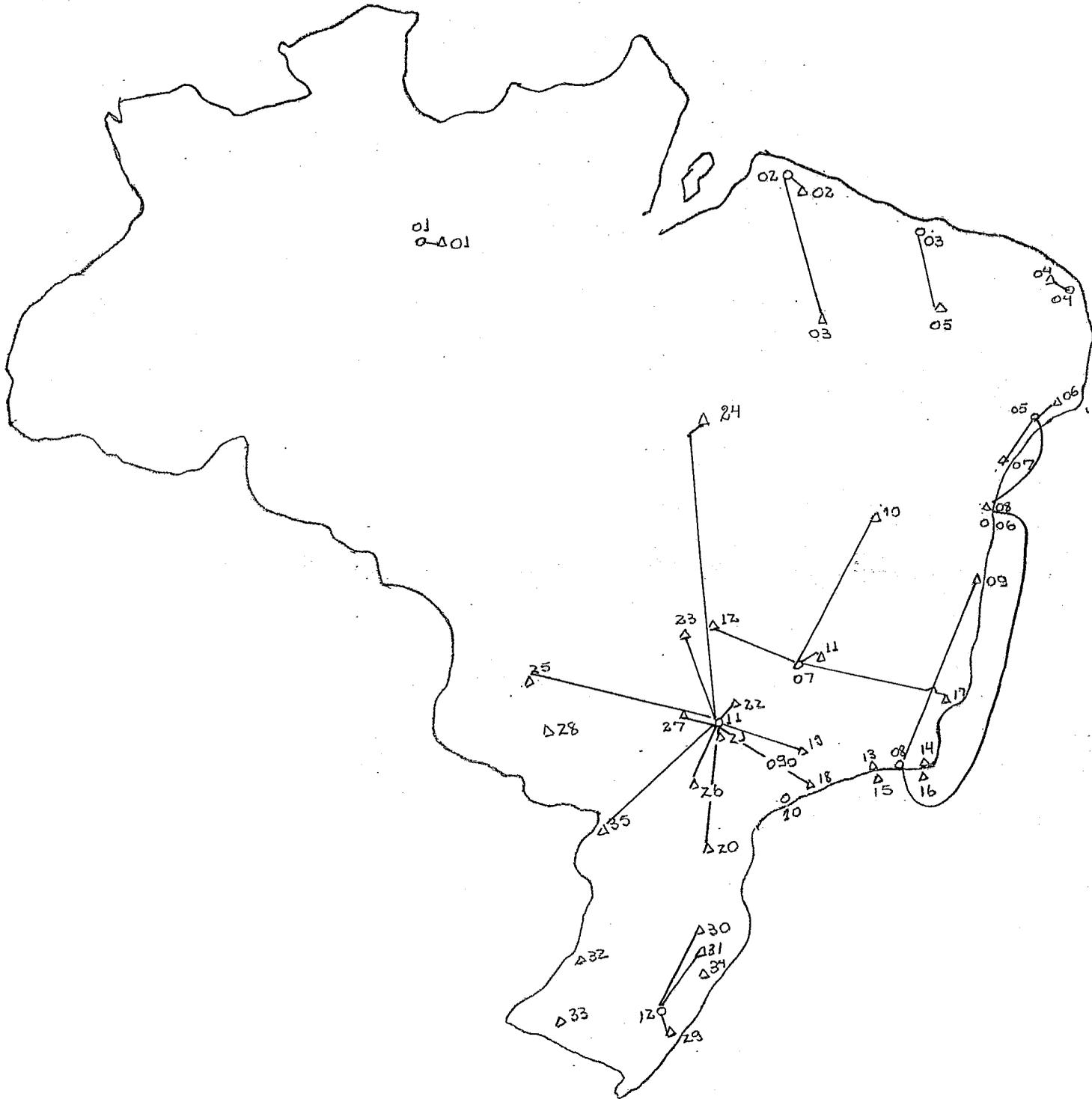
caso g



caso h



caso i



## 5.2 o PORQUE DA SEQUÊNCIA DE EXPERIMENTOS

Em todo trabalho de modelagem com busca de otimização torna-se interessante e extremamente útil, uma análise da sensibilidade de cada parametro ou melhor da influencia de determinado parametro no modelo idealizado.

Foi com vistas a essa analise que realizamos uma sequênciã de "casos" dentro de cada experimento. Poderiamos, eventualmente, ter realizado um "caso", anterior ao caso a, onde considerariãmos inclusive os fretes unitarios iguais para todas as bases, sobre o caso a. Isso no entanto não só é totalmente inviãvel como também, daria, como resultado, apenas a otimização da rede de distãncias rodoviãrias.

### I) Operando-se caso b contra caso a :

podemos sentir qual a influênciã de fretes unitarios por rota.

Os resultados nos indicam que uma tentativa de reduçãõ de fretes de Paulinea em direçãõ ao sul do paìs, seria altamente rendoso.

Nos dizem também que alterações não muito elevadas no norte e nordeste do paìs não causarãõ mudançãas na matriz de distribuiçãõ .

### II) Operando-se caso c contra caso b :

temos uma noçãõ da influênciã de diferençã entre os custos operacionais das bases.

Sendo esse um dos fatores cuja obtenção com precisão é o mais difícil, torna-se necessária uma comparação mais detalhada a respeito.

Um resultado incrível que se observa é que só uma modificação na rede, é decorrente da aplicação da  $COB_k$  diferentes para cada valor de  $k$ . Essa alteração ocorre no suprimento do PAA 20 que deixa de ser atendido por Santos, passando a ser feito por Paulinea.

Isso mostra que no nosso modelo, pequenas diferenças de custos operacionais não alterarão sensivelmente nosso resultado.

Com esses dois casos chegamos a conclusão que o frete tem uma atuação muito mais importante para o nosso modelo que custos de operação de base. Portanto uma redução no custo com fretes, seria extremamente importante para uma redução nos custos totais.

III) Operando caso c contra caso d :

Nota-se que o  $\sum$  da disponibilidade  $>$   $\sum$  das necessidades ou seja a oferta é maior que a procura no total Brasil.

Percebe-se com esse resultado que para justificarmos a construção de uma nova base, devemos simplesmente comparar investimento contra frete (aqueles aeroportos que irão ser servidos pela nova base), como uma boa indicação.

### 5.2.1 EXPERIMENTO 2

I) Na análise do caso e pode-se verificar a alta sensibilidade da rede às alterações no tempo entre duas entregas, seguidas, de produto às bases do nordeste.

É este o caso de maior custo (como veremos no "Quadro comparativo" 5.3). Portanto devem ser tomadas todas as providências para um não aumento desse intervalo de tempo.

II) Como resultado ótimo sugeriu o fechamento da Base de Santos, esse modelo mostra quão pequena seria também a influência de um "crack" em Belo Horizonte.

III) Como Pauliêa passará a ser a única responsável pelo abastecimento do maior número de PAA, simulamos o que poderia acontecer com a quebra da mesma; primeiro antes de fechar Santos, segundo com Santos fechado. Nota-se a necessidade de um grande deslocamento de frota, o que poderá alterar o tempo entre chegadas do produto aos PAAs e assim provocar uma falta do produto. Isso pode servir como uma justificativa para a continuação da existência do estoque de reserva em Ipiranga

### 5.3 COMPARAÇÃO ENTRE REDE OTIMA, CASO B, E CASO C

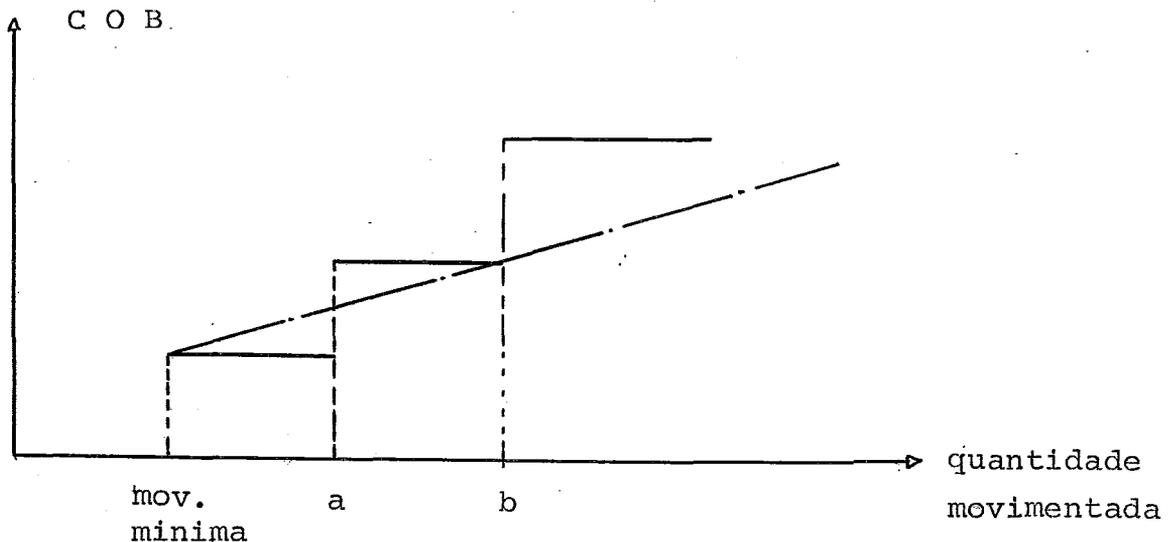
Apresentaremos a seguir uma tabela completa dos custos de cada solução.

Distribuição	Custo total Cr\$/sem	Comparação com ótimo	
		em %	absoluta (Cr\$/sem)
ótimo	5247269		
caso a	5210374	0.70	- 36.895
caso b	5225318	0.42	- 21.951
caso c	5247269	0.00	0
caso e	5726836	9.14	-479.567
caso f	5271095	0.45	23.826
caso g	5288110	0.78	40.841
caso h	5318122	1.35	70.853
caso i	5285480	0.73	38.211

I) Caso ótimo (caso d) contra caso c :

Verificamos, como já foi dito em 5.2 III, que temos uma  $\sum \text{oferta} > \sum \text{demanda}$ . Além disso por análise do "mapa " do out-put, que em nenhum ponto de oferta estamos trabalhando com valor máximo. Poderíamos sugerir se for possível, um aproveitamento desse espaço disponível para armazenagem de outro produto.

Pela tabela acima nota-se que a restrição de oferta não encareceu o custo total. Isso pode não ser totalmente verdade. Nós consideramos um custo operacional COB fixo para qualquer quantidade movimentada. Poderíamos no entanto estar diante de uma curva degrau ou linear e portanto um aproveitamento do espaço não utilizavel poderia significar uma redução nos custos totais.



## II) Caso otimo contra caso b :

Alem de todos os detalhes dados em 5.2 II devemos acrescentar a influencia, em valor absoluto, que representa um decrescimo do COB.

Considerando-se que mais da metade dos custos totais são devidos a utilização das bases de Paulinea e Rio de Janeiro, uma redução sensível somente nessas duas bases poderia reduzir de forma acentuada, os custos totais.

## 5.4. ANÁLISE DOS "MAPAS DO COMPUTADOR"

### 5.4.1 MAPA DO LP SOLUTION

- Variable - dá o nome das "variáveis" do problema. no nosso caso QB, B, DMA, FOQUE.
- Type - indica se a variable está com seu valor no limite superior (UL), limite inferior (LL) ou outro valor intermediario B \*

- Entries - número de equações em que a variável aparece.
- Solution Activity - é o valor que a variável deve tomar dentro da solução obtida.
- Uper Bound, Lower Bound - valores limite superior e inferior a qual a variável está sujeita
- Current Cost - é o custo de colocação do produto no aeroporto. É o custo  $C_{k.m}$  para cada variável
- Reduced Cost - é o valor que deverá ser acrescentado à função objetivo, por unidade, quando houver tido uma variação na variável, decorrente de uma variação no limite inferior ou superior.

#### 5.4.2 MAPA DO LP ANALYSIS

Além de alguns dos itens acima do LPSOLUTION, apresenta também :

- Cost/unit increase (decrease) - custo adicional nos custos totais, pelo aumento ou diminuição de uma unidade da variável.
- Increased (decreased) activity - é o aumento ou diminuição do valor da variável em função da diminuição ou aumento , respectivamente, do custo associado a ela.
- Lowest (highest) cost - é a variação permitida ao custo de cada variável sem que a solução ótima se altere.

Quando o custo associado a uma variável sobe acima do highest cost ou desce abaixo do lowest cost, o valor da variável passa a estar indicado no increased (decreased) activity.

### 5.4.3 COMENTÁRIOS

O LP ANALYSIS nos apresenta uma gama maior de informações, as quais são de grande utilidade (ver análise de sensibilidade 5.5)

O LP ANALYSIS para o nosso problema, apresentou uma leitura fácil, pois ele nos apresenta dois mapas : um com as variáveis que estão em upper bound ou lower bound e outro das variáveis em nível intermediário. Em geral a leitura do LP SOLUTION é mais fácil e rápida.

Interessante seria se tivéssemos um mapa com as variáveis com valor igual a zero e outro com valores diferentes de zero, ou ainda um mapa com variáveis básicas e outro com não básicas.

### 5.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Faremos nossa análise baseada somente nos mapas LP ANALYSIS E LP SOLUTION.

Podemos, através da utilização das colunas cost unit/increase (decrease), increased (decreased) activity, lowest (highest) cost, analisar bem detalhadamente alguns tópicos importantes.

- Podemos fazer uma análise da possibilidade de transporte ferroviário, mais barato, que rodoviário. Admitimos que o valor do novo  $C = COB + CPB + CFT$  caia a níveis abaixo de "lowest cost." Isso acarretará num aumento do valor da variável, dado pelo "increased activity" o que influencia um custo por unidade, na função objetivo dado por "cost/unit increase".

- Raciocínio inverso é também possível de se analisar.
- No LP Solution podemos estudar a comparação entre investimento em aumento de depósito, por exemplo, (aumento do Uper Bound) versus um acréscimo do valor da variável.

Algumas outras análises poderiam ser realizadas , porém julgamos essas as mais importantes para o nosso estudo.

## Capítulo 6

### COMPARAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO

6.1 Comparação

6.2 Implementação - indicações

6.1 COMPARAÇÃO

Com o intuito de verificar "o quanto" estamos otimizado com relação ao sistema real, apresentamos a seguinte tabela

Distribuição	Custo total Cr\$/semana	Comparação com real	
		em %	absoluta (Cr\$/semana)
atual	5261887		
otimo	5247269	0.28	14.618
caso a	5210374	0.98	51.513
caso b	5225318	0.69	36.569
caso c	5247269	0.28	14.618
* { caso e	5726836	8.80	- 464949
caso f	5271095	0.17	- 9208
caso g	5288110	0.49	- 26223
caso h	5318122	1.07	- 56235
caso i	5285480	0.45	- 23593

\* com utilização de 0.1 inteira.

O que observamos é que embora a solução ótima presente, em relação a situação atual, uma pequena melhoria percentual, a economia absoluta é considerável.

Vale frizar que muitas das rotas são fixas pois o aeroporto fica muito próximo da base, como por exemplo o PAA do Galeão com a base da Ilha do Governador.

Podemos dizer que desconsiderando as "rotas fixas" o problema foi "otimizado" em aproximadamente 5% .

## 6.2 IMPLEMENTAÇÃO

Antes de qualquer implementação torna-se necessário que o administrador oriente os operadores do novo sistema, quanto a necessidade de comunicação rápida entre PAA e base supridora, para que eventuais anomalias possam ser corrigidas.

Deve ser notado também que o fluxo diário , que todas as suas disponibilidades é função do encargo de distribuição da base, em contato com os PAA por ela servidos, e em contato com as companhias transportadoras.

Recordando.A solução ótima sobre a situação atual sugeriu :

- 1 - Fechamento dos depósitos de Santos
- 2 - Belo Horizonte (Betim) servindo a PAA de Vitória
- 3 - Brasília sendo unicamente servida por Belo Horizonte
- 4 - O aeroporto de Terezina sendo servido por São Luiz do Maranhão ao invés de por Fortaleza.

OBS .: É possível que com a duplicação da capacidade produtora de Paulinea, e com a duplicação da capacidade do depósito, seja necessária a retirada de mais produto da mesma, para uma diminuição nos custos operacionais. Caso isso ocorra sugerimos um novo experimento do modelo.

APÊNDICE I

LISTAGEM DO PROGRAMA

ENTRADA COM FORTRAN

SAÍDA LB SOLUTION

SAÍDA LP ANALYSIS

```
DIMENSION CPB(20),COB(20),CFT(20,35),C(20,35),VDM(35),VLD(20)
INTEGER O(35)
```

```
DATA O/'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',
*'26','27','28','29','30','31','32','33','34','35'/
```

```
REWIND 9
```

```
L=12
```

```
J=35
```

```
C***** A PRIMEIRA SOLUCAO SE REFERE A VALORES NORMAIS E MEDIOS
```

```
C***** A SEGUNDA SOLUCAO SE REFERE A VALORES MINIMOS EM BASES DO NORTE-NORDESTE
```

```
C***** A TERCEIRA SE REFERE AO FECHAMENTO DAS BASES DE SANTOS E BELO HORIZONTE
```

```
C*****NOS 3 CASOS TEMOS TAMBEM POSTOPTIMAL ANALYSES*****
```

```
100 READ(1,100)(CPB(K),K=1,L)
```

```
100 FORMAT(11F7.2/F7.2)
```

```
110 READ(1,110)(COB(K),K=1,L)
```

```
110 FORMAT(11F7.2/F7.2)
```

```
DO 130 K=1,L
```

```
130 READ(1,120)(CFT(K,M),M=1,J)
```

```
120 FORMAT(10F7.2)
```

```
WRITE(3,500)
```

```
500 FORMAT('1',50X,'LISTAGEM DOS COEFICIENTES'//52X,'CUSTOS EM CR POR
```

```
*M3'////
```

```
* 'CUSTO PROD. BASE',4X,'CUSTO OPER. BASE',4X,'CUSTO FRETE TO
```

```
*TAL',6X,'SOMATORIA DOS CUSTOS',15X,'ROTA')
```

```
DO 140 K=1,L
```

```
DO 140 M=1,J
```

```
C(K,M)=CPB(K)+COB(K)+CFT(K,M)
```

```
140 WRITE(3,150)(CPB(K),COB(K),CFT(K,M),C(K,M),O(K),O(M))
```

```
150 FORMAT(4X,F7.2,13X,F7.2,13X,F7.2,17X,F8.2,24X,2A2)
```

```
REWIND 9
```

```
WRITE(9,160)
```

```
160 FORMAT(16H// EXEC DFUZMOSS,T81)
```

```
WRITE(9,170)
```

```
170 FORMAT(5HINPUT,T81)
```

```
WRITE(9,180)
```

```
180 FORMAT(4HNAME,T15,7HHERMANN,T81)
```

```
DO 190 K=1,L
```

```
DO 190 M=1,J
```

```
190 WRITE(9,200)(O(K),O(M),C(K,M))
```

```
200 FORMAT(4X,'QB',2A2,T15,'FOQE',T25,F8.2,T81)
```

```
DO 220 M=1,J
```

```
DO 220 K=1,L
```

```
220 WRITE(9,230)(O(K),O(M),O(M))
```

```
230 FORMAT(4X,'QB',2A2,T15,'DMA',A2,T29,3H1.0,T81)
```

```
READ(1,240)(VDM(M),M=1,J)
```

```
240 FORMAT(10F7.2)
```

```
READ(1,241)(VLD(K),K=1,L)
```

```
241 FORMAT(10F7.2)
```

```
C***** COMO BETIM NAO TEM LIMITE SUPERIOR USAREMOS O VALOR 9999.99
```

```
DO 245 M=1,J
```

```
245 WRITE(9,250)(O(M),VDM(M))
```

```
250 FORMAT(1X,'FX',1X,'HERMANN',T15,'DMA',A2,T25,F7.2,T81)
```

```
DO 260 K=1,L
```

```
DO 260 M=1,J
```

```
260 WRITE(9,270)(O(K),O(M),O(K))
```

```
270 FORMAT(4X,'QB',2A2,T15,'B',A2,T29,3H1.0,T81)
```

```
DO 280 K=1,L
```

```
DO 280 M=1,J
```

---

IV	360N-FD-479 3-8	MAINPGM	DATE	08/08/74	1
----	-----------------	---------	------	----------	---

---

```
280 WRITE(9,290)(O(K),O(M))
290 FORMAT(1X,'LB',1X,'HERMANN',T15,'QB',2A2,T29,3H0.0,T81)
    DO 300 K=1,L
300 WRITE(9,310)(O(K))
310 FORMAT(1X,'LB',1X,'HERMANN',T15,'B',A2,T29,3H0.0,T81)
    DO 315 K=1,L
315 WRITE(9,340)(O(K),VLD(K))
340 FORMAT(1X,'UB',1X,'HERMANN',T15,'B',A2,T25,F7.2,T81)
    WRITE(9,350)
350 FORMAT(6HENDATA,T81)
    WRITE(9,360)
360 FORMAT(3HEND,T81)
    WRITE(9,370)
370 FORMAT(21H// ASSGN SYSIN,X'00C',T81)
    REWIND 9
    STOP
    END
```

---

VARIABLE	ENTRIES	SOLUTION	UPPER	LOWER	CURRENT	REDUCED	
TYPE		ACTIVITY	BOUND	BOUND	COST	COST	
QB1113	LL	3	0.0	*****	0.0	596.530	-80.640
QB1114	LL	3	0.0	*****	0.0	596.530	-79.250
QB1115	LL	3	0.0	*****	0.0	596.530	-596.530
QB1116	LL	3	0.0	*****	0.0	596.530	-596.530
QB1117	LL	3	0.0	*****	0.0	705.790	-113.920
QB1118	B*	3	13.790	*****	0.0	537.340	0.0
QB1119	B*	3	1342.560	*****	0.0	534.430	0.0
QB1120	B*	3	103.680	*****	0.0	598.070	0.0
QB1121	B*	3	477.970	*****	0.0	519.390	0.0
QB1122	B*	3	18.520	*****	0.0	568.380	0.0
QB1123	B*	3	9.550	*****	0.0	622.270	0.0
QB1124	B*	3	12.620	*****	0.0	818.060	0.0
QB1125	B*	3	3.780	*****	0.0	785.670	0.0
QB1126	B*	3	24.340	*****	0.0	575.130	0.0
QB1127	B*	3	67.920	*****	0.0	538.690	0.0
QB1128	LL	3	0.0	*****	0.0	562.660	-562.660
QB1129	LL	3	0.0	*****	0.0	664.200	-147.710
QB1130	LL	3	0.0	*****	0.0	648.010	-8.210
QB1131	LL	3	0.0	*****	0.0	675.000	-53.820
QB1132	LL	3	0.0	*****	0.0	739.780	-739.780
QB1133	LL	3	0.0	*****	0.0	707.780	-707.780
QB1134	LL	3	0.0	*****	0.0	664.260	-146.830
QB1135	B*	3	89.960	*****	0.0	711.440	0.0
QB1201	LL	3	0.0	*****	0.0	1509.420	-989.290
QB1202	LL	3	0.0	*****	0.0	1294.320	-774.850
QB1203	LL	3	0.0	*****	0.0	1089.430	-317.590
QB1204	LL	3	0.0	*****	0.0	1306.480	-782.510
QB1205	LL	3	0.0	*****	0.0	1301.910	-687.110
QB1206	LL	3	0.0	*****	0.0	1242.640	-719.690
QB1207	LL	3	0.0	*****	0.0	1110.780	-534.950
QB1208	LL	3	0.0	*****	0.0	1092.540	-569.120
QB1209	LL	3	0.0	*****	0.0	1009.550	-368.800
QB1210	LL	3	0.0	*****	0.0	1261.430	-542.450

SOLUTION  
LP

=====VARIABLES AT UPPER BOUND OR LOWER BOUND=====						
VARIABLE	SOLUTION ACTIVITY	UPPER BOUND	COST/UNIT INCREASE	INCREASED ACTIVITY	LOWEST COST	
TYPE	CURRENT COST	LOWER BOUND	COST/UNIT DECREASE	DECREASED ACTIVITY	HIGHEST COST	
=====						
QB1220	0.0	*****	75.810	103.680	598.070	
LL	673.880	0.0	-75.810	-40.310	*****	
QB1221	0.0	*****	145.240	373.930	519.390	
LL	664.630	0.0	-145.240	40.310	*****	
QB1222	0.0	*****	150.050	18.520	568.380	
LL	718.430	0.0	-150.050	-40.310	*****	
QB1223	0.0	*****	155.160	9.550	622.270	
LL	777.430	0.0	155.160	40.310	*****	
QB1224	0.0	*****	154.370	12.620	818.060	
LL	972.430	0.0	-154.370	-40.310	*****	
QB1225	0.0	*****	143.760	3.780	785.670	
LL	929.430	0.0	-143.760	-40.310	*****	
QB1226	0.0	*****	184.300	24.340	575.130	
LL	759.430	0.0	-184.300	-40.310	*****	
QB1227	0.0	*****	152.740	67.920	538.690	
LL	691.430	0.0	-152.740	-40.310	*****	
QB1228	0.0	*****	710.430	0.0	0.000	
LL	710.430	0.0	-710.430	0.0	*****	
QB1232	0.0	*****	604.890	0.0	=0.000	
LL	604.890	0.0	604.890	0.0	*****	
QB1233	0.0	*****	575.480	0.0	=0.000	
LL	575.480	0.0	=575.480	0.0	*****	
QB1235	0.0	*****	68.080	89.960	711.440	
LL	779.520	0.0	-68.080	-40.310	*****	
DMA01	600.000	600.000	520.130	800.000	=520.130	
EQ	0.0	600.000	-520.130	-0.000	*****	

LP ANALYSIS

----- VARIABLES AT INTERMEDIATE LEVEL -----						
VARIABLE	SOLUTION	UPPER BOUND	COST/UNIT	INCREASED	LOWEST	
	ACTIVITY		INCREASE	ACTIVITY	COST	
TYPE	CURRENT	LOWER BOUND	COST/UNIT	DECREASED	HIGHEST	
	COST		DECREASE	ACTIVITY	COST	
QB0101	600.000	*****	*****	600.000	*****	
B*	520.130	0.0	988.680	-0.000	1508.811	
F00E	5247269.825	*****	*****	5247269.825	*****	
B*	-1.000	0.0	*****	5247269.825	*****	
QB0202	359.520	*****	*****	359.520	*****	
B*	519.470	0.0	327.450	328.730	846.921	
QB0203	15.920	*****	*****	15.920	*****	
B*	771.840	0.0	11.060	-14.870	782.901	
QB0305	56.710	*****	*****	56.710	*****	
B*	614.800	0.0	55.920	-0.000	670.721	
QB0404	185.550	*****	*****	185.550	*****	
B*	523.970	0.0	223.530	-0.000	747.501	
QB0506	534.050	*****	*****	534.050	*****	
B*	522.950	0.0	117.800	-5.170	640.751	
QB0507	5.170	*****	*****	5.170	*****	
B*	575.830	0.0	79.860	534.050	655.691	
QB0608	247.810	*****	*****	247.810	*****	
B*	523.420	0.0	123.190	24.030	646.611	
QB0609	30.500	*****	*****	30.500	*****	
B*	640.750	0.0	102.990	-256.480	743.741	
QB0610	8.670	*****	*****	8.670	*****	
B*	718.980	0.0	76.630	-215.110	795.611	
QB0711	29.380	*****	*****	29.380	*****	
B*	518.130	0.0	64.440	-475.780	582.571	
QB0712	633.530	*****	*****	633.530	*****	
B*	609.250	0.0	20.250	593.220	629.501	

A N E X O I

Matriz de fretes

	BASES	01	02	03
		MANAUS	BELÉM	SÃO LUIZ
AEROPORTOS				
PONTA PELADA	01	8.93	∞	∞
VAL DE CANS	02	∞	8.37	336.02
CAROLINA	03	∞	260.74	272.00
PINHO MARTINS	04	∞	491.50	242.12
TEREZINA	05	∞	421.29	103.90
GUARARADES	06	∞	727.49	453.60
PALMARES	07	∞	741.60	468.56
DOIS DE JULHO	08	∞	612.56	386.88
ILHEUS	09	∞	663.12	434.88
BJJ. da LAPA	10	∞	830.00	600.00
PAMPULHA	11	∞	686.63	652.12
BRASILIA	12	∞	516.70	528.00
GALEÃO	13	∞	554.07	502.76
S.DUMONT	14	∞	554.07	502.76
JACAREPAGUA	15	∞	554.07	502.76
C.AFONSOS	16	∞	554.07	502.76
GOIABEIRAS	17	∞	556.77	578.00
S.J.DOS CAMPOS	18	∞	589.00	601.00
CONGONHAS	19	∞	571.52	579.12
AFONSO PENA	20	∞	649.04	661.00
VIRACOPOS	21	∞	480.97	502.58
UBERABA	22	∞	605.47	617.00
GOIANIA	23	∞	492.90	504.00
P.NACIONAL	24	∞	323.00	335.00

CUIABA	25	689.48	701.00
LONDRINA	26	609.01	616.00
PIRASSUNUNGA	27	679.01	691.00
S.J.DO RIO PRETO	28	619.28	631.00
SALGADO FILHO	29	784.89	797.00
ITAJAI	30	691.60	703.00
FLORIANOPOLIS	31	706.23	718.00
ERECHIM	32	780.52	792.00
STA. MARIA	33	848.92	860.00
GRAVATAI	34	784.70	796.00
FOZ DE IGUAÇU	35	747.84	759.00

	BASES	04	05	06
AEROPORTOS				
PONIA PELADA	01	∞	∞	∞
VAL DE CANS	02	491.50	729.49	612.56
CAROLINA	03	350.00	501.70	470.72
PINTO MARTINS	04	7.83	231.26	324.56
TEREZINA	05	154.325.73	292.72	
GUARARAPES	06	231.26	6.71	130.37
PALMARES	07	309.02	59.59	145.31
DOIS DE JULHO	08	324.56	130.37	13.04
ILHEUS	09	373.92	232.81	130.37
B.J.da LAPA	10	549.00	279.37	208.60
PAMPULHA	11	591.67	511.70	323.68
BRASILIA	12	620.00	492.74	350.00
GALEÃO	13	460.85	422.40	293.04
S.DUMONT	14	460.85	422.40	293.04
JACAREPAGUA	15	460.85	422.40	293.04
C.AFONSOS	16	460.85	422.40	293.04
GOLABEIRAS	17	498.00	380.35	198.72
S.J.dos CAMPOS	18	580.00	500.84	345.00
CONGONHAS	19	583.68	519.84	369.74
AFONSO PENA	20	625.00	597.36	447.26
VIRACOPOS	21	491.21	436.09	305.75
UBERABA	22	476.88	520.70	436.97
GOIANIA	23	448.00	525.00	442.45
P.NACIONAL	24	345.00	502.00	415.50

CUIABA	25	560.00	698.00	612.14
LONDRINA	26	602.00	627.38	477.28
PIRASSUNUNGA	27	578.31	450.00	330.00
S.J. do RIO PRETO	28	523.00	490.00	355.00
SALGADO FILHO	29	780.00	733.00	383.11
ITAJAI	30	690.00	637.83	486.78
FLORIANOPOLIS	31	704.00	654.55	504.45
ERECHIM	32	775.00	779.00	630.80
STA. MARIA	33	850.00	797.24	647.14
GRAVATAI	34	781.00	732.45	582.35
FOZ DE IGUAÇU	35	742.00	723.33	573.23

	BASES	07	08	09
AEROPORTOS		B.HORIZ.	ILHA GOV.	IPIRANGA
PONTA PELADA	01	∞	∞	∞
VAL DE CANS	02	686.03	554.07	571.52
CAROLINA	03	661.88	460.40	462.90
PINTO MARTINS	04	591.67	460.85	583.68
TEREZINA	05	560.45	437.68	473.71
GUARARAPES	06	511.70	422.40	519.84
PALMARES	07	453.63	382.31	473.48
DOIS DE JULHO	08	323.68	293.04	369.74
ILHEUS	09	266.80	233.81	324.33
B.J. da LAPA	10	300.60	373.00	432.56
PAMPULHA	11	9.31	72.64	92.59
BRASILIA	12	102.43	175.07	137.36
GALEÃO	13	72.64	5.96	87.53
S. DUMONT	14	72.64	7.35	87.53
JACAREPAGUA	15	72.64	8.50	87.53
C. AFONSOS	16	72.64	10.12	87.53
GOIABEIRAS	17	83.05	98.71	197.22
S.J. dos CAMPOS	18	118.00	62.69	21.69
CONGONHAS	19	92.59	87.53	8.68
AFONSO PENA	20	157.05	107.26	77.43
VIRACOPOS	21	90.42	87.53	25.43
UBERABA	22	89.40	135.37	75.99
GOIANIA	23	115.48	188.11	113.29
P.NACIONAL	24	317.23	392.97	325.34

CUIABA	25	279.90	303.72	309.06
LONDRINA	26	182.02	123.45	97.04
PIRASSUNUNGA	27	92.40	84.55	39.59
S.J. do RIO PRETO	28	130.00	136.60	59.76
SALGADO FILHO	29	270.02	195.56	135.96
ITAJAI	30	189.60	195.56	120.15
FLORIANOPOLIS	31	204.61	226.01	151.07
ERECHIM	32	308.10	224.38	212.03
STA. MARIA	33	323.29	237.63	178.12
GRAVATAI	34	269.39	195.00	136.64
FOZ DE IGUAÇU	35	261.80	289.44	199.17

	BASES	10	11	12
AEROPORTOS		SANTOS	PAULINEA	ESTEIO
PONTA PELADA	01	∞	∞	∞
VALS DE CANS	02	593.52	480.97	784.84
CAROLINA	03	484.90	387.30	580.00
PINTO MARTINS	04	605.68	491.21	797.05
TEREZINA	05	495.71	461.50	792.48
GUARARAPES	06	541.84	436.09	733.21
PALMARES	07	495.48	428.84	601.35
DOIS DE JULHO	08	391.74	305.75	583.11
ILHEUS	09	346.33	266.31	500.13
B.J. da LAPA	10	454.56	361.61	752.00
PAMPULHA	11	114.59	90.42	270.02
BRASILIA	12	159.36	120.50	375.00
GALEÃO	13	107.26	87.53	195.56
S. DUMONT	14	107.26	87.53	195.56
JACAREPAGUA	15	107.26	87.53	195.56
C. AFONSOS	16	107.26	87.53	195.56
GOIABEIRAS	17	219.22	196.79	345.00
S.J. dos CAMPOS	18	43.69	28.34	158.00
CONGONHAS	19	30.91	25.43	135.96
AFONSO PENA	20	87.20	89.07	164.45
VIRACOPOS	21	48.04	10.39	155.20
UBERABA	22	97.99	59.38	209.00
GOIANIA	23	135.29	113.27	268.00
P. NACIONAL	24	347.34	309.06	463.00

CUIABA	25	313.30	276.67	420.00
LONDRINA	26	119.04	66.13	250.00
PIRASSUNUNGA	27	61.89	29.69	182.00
S.J. do RIO PRETO	28	81.76	53.20	201.00
SALGADO FILHO	29	157.96	155.20	7.06
ITAJAI	30	142.15	139.01	130.37
FLORIANOPOLIS	31	173.07	166.00	111.75
ERECHIM	32	233.03	230.78	95.46
STA. MARIA	33	200.12	198.78	66.05
GRAVATAI	34	158.64	155.26	8.00
FOZ DE IGUAÇU	35	221.17	202.44	270.09

A N E X O II

Mark IV

PROGRAMAÇÃO MARK IV

O "information request" propicia, ao usuario, meios mais fa - ceis de seleção de registros e produção de relatórios de "fi - les" já definidos por Mark IV. O usuario especifica ainda, as seguintes operações :

- Selecciona registros que atendam a critérios específicos
- Impune um relatorio contendo dados dos registros sele - cionados com totais e subtotais
- Classifica os dados selecionados em ordem crescente ou decrescente
- Produz relatorios sô com sumarios.

Para tanto dispõe o usuario de uma serie de pré-impessos que devem ser completados adequadamente.

Inicialmente utilizamos a forma padrão de entrada para obtermos um relatorio padrão.

Em seguida, utilizamos campos temporarios para obtenção de no vo relatorio.

A seguir apresentamos a entrada padrão - a saída padrão e a entrada com campo temporário e a saída respectiva, nessa se - quência.

```

*****
* REQUEST NAME = DEMANDAV *
* INPUT STREAM REQUEST *
*****

```

```

-----
CARD REPORT          MAX ONE SUM VERT FORMS PAGE  PAGE LINE SPECIAL
TYPE DATE          REQUESTOR ID          ITEMS SEL RPT SP  CNTRL WIDTH HEIGHT NOS. REQUEST
-----

```

```

(IR)(TODAY )(FERMANN          DEL)( 100)          (Y)

```

```

-----
CARD SEQ  LCG CON  ..OPERAND A...  OPER  .....OPERAND B.....  ....RESULT....  PARTIAL FIELD
TYPE NO.  LEV  CTR  GLF  FIELD NAME  ATN  GLF  FIELD NAME OR CONSTANT  GLF  FIELD NAME  STRT NUMB  OPR
-----

```

```

(PR)( 1)          (GROUPROD)  (EQ)  (C,15          )
(PR)( 2) (1) (0)  (GROUPROD)  (EQ)  (C,11          )

```

```

-----
CARD SEQ  SP  Q  E  N  S  D  C  S  T  C  C  M  M  A  Q  PCT/  P  PARTIAL
TYPE NO.  BF  L  FIELD  N  P  E  E  T  U  C  U  N  A  I  V  L  RATIC  RA= C  PICTURE  STRT NC
COL  F  NAME  D  R  G  S  L  B  T  M  T  X  N  G  F  FIELD  TIO T  EDIT  CHR CHR
-----

```

```

(R1)( 1)( 5) (LOCAL )          (1)  (1)
(R1)( 2)( 5) (GROUPROD)          (2)  (2)
(R1)( 3)( 5) (CATAEMIS)          (3)  (3)
(R1)( 4)( 5) (QLANTIC )          (4)  (3)

```

```

-----
CARD SEQ
TYPE NO.          TEXT
-----

```

```

(T1) (001)          (DEMANDA POR AEROPORTO MES MARCO C          )

```

	LOCAL		DATA EMIS.	QUANTIDADE
DATAEMIS TOTAL	5615	11	27034	2,995
GRUPROD TOTAL	5615	11		2,995
DATAEMIS TOTAL	5615	15	20034	,000
DATAEMIS TOTAL	5615	15	27034	,000
GRUPROD TOTAL	5615	15		,000
LOCAL TOTAL	5615			2,995
DATAEMIS TOTAL	5617	11	20034	1,912
DATAEMIS TOTAL	5617	11	27034	2,770
GRUPROD TOTAL	5617	11		4,682
DATAEMIS TOTAL	5617	15	13034	201,590
DATAEMIS TOTAL	5617	15	20034	199,272
DATAEMIS TOTAL	5617	15	27034	204,550
DATAEMIS TOTAL	5617	15	31034	204,406
GRUPROD TOTAL	5617	15		809,818
LOCAL TOTAL	5617			814,500
DATAEMIS TOTAL	5623	11	13034	,098
GRUPROD TOTAL	5623	11		,098
LOCAL TOTAL	5623			,098
DATAEMIS TOTAL	5625	11	27034	8,830
DATAEMIS TOTAL	5625	11	31034	58,560
GRUPROD TOTAL	5625	11		67,390
DATAEMIS TOTAL	5625	15	31034	10,861
GRUPROD TOTAL	5625	15		10,861
LOCAL TOTAL	5625			78,251



		VENDAS		QUANTIDADE	
VENDAS	TOTAL	5160	15	29044	
VENDAS	TOTAL	5591	11	02024	66
VENDAS	TOTAL	5591	11	02054	428
VENDAS	TOTAL	5591	11	04024	275
VENDAS	TOTAL	5591	11	04034	432
VENDAS	TOTAL	5591	11	05034	212
VENDAS	TOTAL	5591	11	06034	179
VENDAS	TOTAL	5591	11	06054	170
VENDAS	TOTAL	5591	11	09044	172
VENDAS	TOTAL	5591	11	11054	190
VENDAS	TOTAL	5591	11	12034	402
VENDAS	TOTAL	5591	11	13034	185
VENDAS	TOTAL	5591	11	14024	241
VENDAS	TOTAL	5591	11	14054	214
VENDAS	TOTAL	5591	11	15024	185
VENDAS	TOTAL	5591	11	15034	125
VENDAS	TOTAL	5591	11	16044	327
VENDAS	TOTAL	5591	11	17034	592
VENDAS	TOTAL	5591	11	17054	203
VENDAS	TOTAL	5591	11	18024	480
VENDAS	TOTAL	5591	11	18054	1.211
VENDAS	TOTAL	5591	11	19044	166
VENDAS	TOTAL	5591	11	20024	213
VENDAS	TOTAL	5591	11	22024	258
VENDAS	TOTAL	5591	11	22044	184
VENDAS	TOTAL	5591	11	24054	179
VENDAS	TOTAL	5591	11	25054	280
VENDAS	TOTAL	5591	11	26034	274
VENDAS	TOTAL	5591	11	27034	166
VENDAS	TOTAL	5591	11	27054	392
VENDAS	TOTAL	5591	11	28014	85
VENDAS	TOTAL	5591	11	28024	1.864
VENDAS	TOTAL	5591	11	28034	352
VENDAS	TOTAL	5591	11	28044	150
VENDAS	TOTAL	5591	11	28054	603
VENDAS	TOTAL	5591	11	29044	270
VENDAS	TOTAL	5591	11	30014	1.301
VENDAS	TOTAL	5591	11	30034	431
VENDAS	TOTAL	5591	11	30044	1.119
VENDAS	TOTAL	5591	11	31014	1.441
VENDAS	TOTAL	5591	11	31034	528
VENDAS	TOTAL	5591	11	31054	1.544
VENDAS	TOTAL	5591	15	28024	8.500
VENDAS	TOTAL	5591	15	30044	10.925
VENDAS	TOTAL	5591	15	31014	11.079
VENDAS	TOTAL	5591	15	31034	10.475
VENDAS	TOTAL	5591	15	31054	8.400
VENDAS	TOTAL	5610	11	30044	28.772
VENDAS	TOTAL	5610	11	31054	14.260

B I B L I O G R A F I A

1. Principles of Operational Research  
Wagner
2. Programacion Lineal  
GASS.I. SAUL, Companhia Editorial Continental S.A. -Mexico
3. Probabilidade , Aplicações a Estatística  
MEYER,PAUL L., do livro tecnico- Rio de Janeiro
4. Integer Programming and Network flows  
HU,T.C., Addison Wesley
5. GUIA QUATRO RODAS, 1974
6. Estudo para concepção de Politicas Alternativas de transporte  
COPPETEC -Projeto CT -183/71 - Rio de Janeiro