

*
DIMENSIONAMENTO DE UMA FROTA DE GRANELEIROS
POR MEIO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Autor:
REYNALDO BROWN DO REGO MACEDO

Orientador:
Prof. Dr. ANTONIO G. N. NOVAES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
APRESENTADA À ESCOLA POLITÉCNICA
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

NOVEMBRO
1976

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos à Docenave-Vale do Rio Doce Navegação S.A. e à sua equipe da Assessoria de Planejamento, pelas informações e apoio prestados ao longo da execução deste trabalho, sem os quais a componente de aplicação prática - dos resultados desta dissertação poderiam estar comprometidos.

Aos engenheiros Virgílio Rodrigues Lopes de Oliveira, companheiro há mais de 17 anos, e Paulo de Tarso Rolim de Freitas, registro meu muito obrigado pelas sugestões e auxílios recebidos.

Finalmente, agradeço ao Comandante Elcio de São Freitas pela oportunidade que me deu de concluir o mestrado nestes - anos que trabalhamos juntos, e ao meu orientador, Dr. Antonio Galvão N. Novaes, pela segura orientação recebida.

to Maclerio

RESUMO

Neste estudo é estabelecido um modelo matemático linear que representa o problema de decisão de um armador que opera com graneis, referente à aquisição e afretamento de navios para sua frota e, paralelamente, à operação da frota resultante.

A solução ótima do problema é obtida através do simplex original com variáveis limitadas superiormente.

Tendo-se chegado a um modelo linear misto algumas considerações são feitas sobre o emprego da técnica do "branch and bound" para a solução completa do problema.

ABSTRACTS

In this study a linear mathematical model is established representing the decision problem of a shipowner who operates with bulk cargoes, regarding the acquisition and freighting of ships for his fleet and, at the same time, the operation of the resulting fleet.

The optimum solution of the problem is achieved using the original simplex with upper limits on some variables.

Since the final linear model turned out as a mixed type one, some considerations were then made about the use of the branch and bound technique for getting the full solution of the problem.

ÍNDICE

1. Introdução
2. Apresentação do problema
3. O modelo matemático adotado
 - 3.1 Variáveis de decisão
 - 3.2 Restrições devidas a navios já existentes
 - 3.3 Restrições de número de navios
 - 3.3.1 Cálculo do tempo de viagem redonda (t_{rs})
 - 3.3.2 Restrições propriamente ditas
 - 3.4 Restrição de recursos para compra de navios
 - 3.5 Restrições causadas pelos fluxos de transporte
 - 3.5.1 Cálculo da quantidade de carga transportada (V_{rsk})
 - 3.5.2 Restrições propriamente ditas
 - 3.6 Restrições devidas às percentagens de navios afretados
 - 3.7 Restrições devidas aos limites superiores
 - 3.8 A função objetivo
 - 3.9 O processo de solução
 - 3.10 Solução ótima mista
 - 3.11 Sensibilidade da solução ótima
4. O programa de computador
 - 4.1 Estrutura básica do programa
 - 4.1.1 Considerações gerais
 - 4.1.2 Variáveis efetivamente usadas
 - 4.1.3 Restrições de calado
 - 4.1.4 Valor da TCI (toneladas por centímetro de imersão)
 - 4.1.5 Rotas com canal
 - 4.1.6 Cálculo da função objetivo
 - 4.1.7 Mensagens de interrupção
 - 4.2 Formas de utilização
 - 4.2.1 Considerações gerais
 - 4.2.2 Dimensionamento da frota ótima
 - 4.2.3 Distribuição de uma frota pelas rotas

4.3 Restrições de emprego

4.4 Dados de entrada

4.5 Exemplo de processamento

4.6 Listagem

5. Recomendações

Referências.

1. I N T R O D U Ç Ã O

Este trabalho apresenta um modelo matemático resultante do equacionamento do problema de decisão com que se defronta um armador que opera no transporte de granéis, quando solicita a definir um plano de expansão para sua frota. Inúmeras são as alternativas que se apresentam, gerando, normalmente, um problema de grandes dimensões cujo tratamento, para ser eficaz, exige o auxílio de uma automatização de cálculo por meio de programação de computador. Assim sendo também aqui é descrito o programa de computador construído para este fim.

Adicionalmente, o modelo matemático criado permite obter a distribuição de uma frota de navios por várias rotas, de forma a atender um conjunto de compromissos de transporte, com o máximo de lucro ou mínimo custo para a empresa.

Desse modo, encontra-se no Capítulo 2 a apresentação descritiva do problema e a motivação responsável pela sua formulação.

No Capítulo 3 é descrito o modelo matemático por intermédio de suas equações e o método utilizado para sua solução (simplex com variáveis limitadas superiormente). Por outro lado o Capítulo 4 encerra todas as informações necessárias à utilização do programa enquanto que no Capítulo 5 são feitas algumas recomendações para aperfeiçoamento futuro.

2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A elaboração de um plano de construção naval, tal como o II Plano Nacional de Construção Naval (75-79) desenvolvido pela Superintendência Nacional da Marinha Mercante, exige uma análise longa e cuidadosa de vários fatores como por exemplo, fluxos previstos de transporte (cabotagem e longo curso), composição da frota mercante existente (idade, estado de preservação..), redução do número de navios afretados, capacidade de nossos estaleiros, quantidade disponível de recursos, etc... Na realidade - um plano de construção naval representa, normalmente, a síntese de um processo de decisão bastante complexo.

Entretanto nesse processo não podem ser esquecidos os interesses daqueles que vão operar as novas embarcações, quais sejam os armadores. Estes interesses são representados, via de regra, pela maximização dos lucros das diversas empresas de navegação beneficiadas pelos financiamentos oriundos do Governo através do plano.

Mas como poderia a SUNAMAM levar em consideração tais interesses? Uma das formas que acredita-se que seja utilizada - constitui o diálogo SUNAMAM x armadores, a priori da definição do plano, no qual estes indicam ao Governo quais navios são - mais convenientes para serem incorporados às suas frotas.

Porém deve-se lembrar que a SUNAMAM, em defesa dos altos interesses nacionais, procura conciliar, da melhor forma possível, os diversos fatores mencionados nos dois primeiros parágrafos deste capítulo, muitas vezes conflitantes, pois, o que é adequado para a armação pode não o ser para os estaleiros, ou para a economia nacional, etc... Portanto é razoável admitir-se que, havendo tal conflito de interesses, a parte com maiores possibilidades de êxito será aquela que justificar suas reivindicações com estudos profundos e objetivos, nos quais buscaria demonstrar o acerto de suas pretensões.

Desse modo, procurou-se desenvolver nesta dissertação um meio eficaz de auxílio ao armador na tarefa de definição do que poderia ser considerado o plano de construção naval de sua empresa. Mais especificamente o esforço foi voltado para uma empresa que opera no transporte de graneis sólidos ou líquidos.

Portanto, o objetivo inicial deste trabalho foi desenvolver um instrumento de cálculo que produzisse como resposta - quais e quantos navios deveriam ser adquiridos por uma empresa de navegação, tendo em vista a participação no mercado global - de transporte de graneis pretendida por sua diretoria.

Inicialmente foi preciso caracterizar tal participação no mercado global: A forma adotada consiste na definição - das aqui chamadas "missões de transporte", as quais são especificadas pela natureza da carga, pelos pontos de origem e destino e pela quantidade a ser transportada por ano.

Quanto ao aspecto quais navios deveriam ser adquiridos deve-se observar que são inúmeras as alternativas existentes não só com respeito à capacidade dos mesmos como também à velocidade e outras características técnicas. É preciso ressaltar que não se buscou desenvolver um processo automático de projeto de navios e sim um instrumento que, de acordo com um critério pré-estabelecido, apontasse para o armador quais navios seriam os mais adequados à sua frota, dentre um conjunto de tipos de navios submetidos à análise. Este enfoque enquadra-se com a política usual das empresas de navegação de não diversificarem demasiadamente suas frotas, com vistas a reduções nos gastos - com manutenção e reparos (menor estoque de sobressalentes, maior eficiência nos serviços de manutenção, etc...). Portanto, o modelo aqui desenvolvido depende primeiro da caracterização - das missões de transporte e, em seguida, da seleção dos navios candidatos a participarem da frota.

Conhecidos as missões de transporte e os navios candidatos torna-se necessário definir as rotas em que tais navios - operariam de forma a atender aos vários compromissos. Mais uma vez inúmeras são as possibilidades, ainda mais considerando-se a importância da conciliação entre os fluxos de exportação e os de importação. A forma encontrada para se contornar este problema foi deixar à livre escolha do usuário as rotas a serem subme

tidas à análise. Como nem sempre há equilíbrio entre a importação e a exportação sugere-se que para cada missão de transporte seja criada uma rota exclusiva para ela, após o que seriam definidas as rotas que combinam pernas de importação com de exportação. Assim, por exemplo, para os transportes de trigo de Houston (EUA) para Santos e de minério de ferro de Tubarão para Baltimore (EUA) seriam estabelecidas respectivamente as rotas exclusivas Houston - Santos - Houston e Tubarão - Baltimore - Tubarão, que incluiriam as pernas em lastro Santos - Houston e Baltimore - Tubarão. Em seguida definir-se-ia a rota combinada Tubarão-Baltimore-Houston-Santos-Tubarão com as viagens Baltimore-Houston e Santos-Tubarão em lastro. Claro está que esta última rota é preferida até o ponto em que um dos dois fluxos seja saturado sendo, posteriormente, atendido o desbalanceamento pela utilização da rota exclusiva necessária.

Porém, ainda restaria distribuir os navios pelas rotas de forma a atender as missões de transporte. Neste ponto - foi identificado um benefício adicional que poder-se-ia extrair do modelo, qual seja o de se saber em que rota(s) um navio deveria operar tendo em vista as quantidades de carga a transportar. Não é difícil imaginar, entretanto, que existem muitas alternativas de distribuição dos navios pelas diversas rotas que atendem às missões de transporte. Portanto fez-se necessário definir um critério para julgamento dessas alternativas. Neste trabalho dois critérios foram escolhidos: maximização do lucro anual da empresa ou minimização do custo anual (frequentemente é difícil prever os valores dos fretes para o cálculo da receita).

Assim sendo, pode-se acrescentar na resposta esperada do modelo o número de viagens redondas/ano que cada navio deve efetuar em cada rota. Resumidamente, o instrumento desenvolvido nesta dissertação indica ao armador a composição da frota e a distribuição dos navios pelas diversas rotas de forma a atender aos fluxos de transporte pretendidos e a obter o máximo lucro anual ou, alternativamente, o mínimo custo também anual.

Outras restrições foram consideradas. No momento da tomada de decisão o armador, geralmente, já possui alguns navios, os quais não podem ser ignorados. De forma semelhante o armador pode desejar impor um limite superior ao número de navios de um dado tipo. Por exemplo a empresa pode possuir 4 graneleiros de 25000t, dos quais não pretende se desfazer, mas que também não mais deseja comprar por não serem muito lucrativos ou por qualquer outra razão especial. Esses tipos de vínculos foram incorporados ao modelo.

Também existe o fator limitante de recursos disponíveis para a aquisição de novos navios. Embora esses navios sejam financiados, há na legislação pertinente, indicadores que permitem à empresa saber o montante de recursos ao qual pode se habilitar para compra de navios perante a SUNAMAM. Foi, então, introduzida uma restrição adicional no modelo para levar em conta a quantidade disponível de recursos.

Finalmente, para completar a caracterização do problema resta mencionar o papel desempenhado pelos navios afretados. É comum as empresas de navegação que operam com granéis manterem nas suas frotas, por motivos de segurança derivados da grande instabilidade deste mercado de transporte, alguns navios afretados sob contratos a termo. Estes contratos permitem, via de regra, que os navios sejam utilizados da forma como o são os navios de propriedade do armador. O armador, geralmente, procura manter a participação destes navios na frota dentro de certos níveis. Este aspecto fez com que se considerasse separadamente no modelo os navios próprios dos afretados. Desse modo puderam ser introduzidas restrições que impõem limites inferior e superior à razão entre o número de navios afretados e o número total de navios de cada tipo. Evidentemente que estas restrições ficam inativas se o limite inferior for fixado em 0 e o superior em 1. Similarmente, desejando-se fixar a participação dos navios afretados num certo valor é suficiente igualar os limites inferior e superior a este valor.

Com isso a resposta do modelo ficou sendo a composição da frota (separadamente número de navios próprios e afretados de cada tipo) e a distribuição dos navios de cada tipo pelas diversas rotas (número de viagens/ano dos navios de cada tipo nas vá-

rias rotas).

Portanto, embora o objetivo inicial fosse o de desenvolver um instrumento para dimensionar uma frota de navios graneleiros, o modelo obtido pode ser usado também para distribuir por várias rotas uma frota já conhecida de forma a atender um programa de transporte e maximizar o lucro anual da empresa ou minimizar seus custos.

Matematicamente o modelo utiliza a programação linear com variáveis limitadas superiormente. O simplex adotado foi o original. A descrição matemática das diversas equações é feita no capítulo 3 deste texto.

3. O MODELO MATEMÁTICO ADOTADO

3.1 - Variáveis de decisão

São 3 os tipos de variáveis de decisão encontrados:

np_s - número de navios próprios do tipo s pertencentes à frota

na_s - número de navios afretados do tipo s pertencentes à frota

x_{rs} - número de viagens redondas/ano a serem efetuadas pelos navios do tipo s na rota r (próprios + afretados)

Desse modo, obtida a solução, são conhecidas a composição da frota e sua distribuição pelas rotas submetidas à análise, que, satisfazendo a todas as restrições descritas a seguir, otimiza a função objetivo apresentada em 3.8.

3.2 - Restrições devidas a navios já existentes

Normalmente a empresa já opera navios próprios e também afretados dos quais alguns ela terá decidido manter em sua futura frota. Tais navios, dos diversos tipos em estudo, representam vínculos às variáveis definidas em 3.1.

Denominando, respectivamente, es_s e as_s o número de navios próprios e afretados existentes na frota, devem ser impostas as seguintes restrições à np_s e na_s :

$$np_s \geq es_s$$

$$na_s \geq as_s, \text{ qualquer que seja o tipo de navio } s.$$

3.3 - Restrições de número de navios

3.3.1 - Cálculo do tempo de viagem redonda (t_{rs})

O tempo da viagem redonda de um navio do tipo s na rota r é calculado levando-se em consideração as seguintes parcelas:

a) tempo de viagem (t'_{rs})

$$t'_{rs} = \frac{d_r}{v_s \cdot 24} ; \quad \begin{array}{l} d_r = \text{distância navegada em milhas -} \\ \text{na rota} \\ v_s = \text{velocidade de serviço do navio} \\ \text{em nós} \\ t'_{rs} = \text{tempo de viagem em dias.} \end{array}$$

b) tempo de espera nos portos (t''_{rs})

$$t''_{rs} = \sum_i te_i ; \quad \begin{array}{l} te_i = \text{tempo de espera médio de ca-} \\ \text{da porto } i \text{ visitado na ro-} \\ \text{ta (em dias)} \\ t''_{rs} = \text{tempo médio total de espera} \\ \text{nos portos da rota, em dias.} \end{array}$$

c) tempo de carga e descarga (t'''_{rs})

$$t'''_{rs} = \sum_i tcd_i ; \quad \begin{array}{l} tcd_i = \text{tempo gasto para carregar ou} \\ \text{descarregar o navio do tipo} \\ s \text{ quando operando em cada -} \\ \text{porto } i \text{ da rota } r, \text{ em dias} \end{array}$$

$$tcd_i = dwt_s / tmc_i$$

dwt_s = quantidade de carga transportada pelo navio s em toneladas

tmc_i = taxa de manuseio da carga no porto i (t/dia).

d) tempo da viagem redonda (t_{rs})

$$t_{rs} = t'_{rs} + t''_{rs} + t'''_{rs}$$

3.3.2 - Restrições propriamente ditas

Estas restrições garantem a existência, numa solução, do número de navios necessários para uma distribuição de viagens pelas rotas. Elas podem ser escritas como:

$$\sum_r t_{rs} x_{rs} - \text{ANO } np_s - \text{ANO } na_s \leq 0, \text{ para cada tipo } s \text{ de navio.}$$

onde t_{rs} = tempo da viagem redonda do navio s na rota r
 x_{rs} = número de viagens redondas/ano dos navios s na rota r .
ANO = ano operacional dos navios da frota em dias
 np_s = número de navios próprios do tipo s
 na_s = número de navios afretados do tipo s

3.4 - Restrição de recursos para compra de navios

Chamando I_s o preço de um navio do tipo s e de I a quantidade disponível de recursos tem-se:

$$\sum_s (np_s - es_s) I_s \leq I$$

onde np_s = número de navios próprios do tipo s
 es_s = número de navios próprios já existentes na frota do tipo s .

3.5 - Restrições causadas pelos fluxos de transporte

3.5.1 - Cálculo da quantidade de carga transportada (V_{rsk})

A quantidade de carga da missão de transporte k transportada por um navio do tipo s em uma viagem na rota r depende dos seguintes fatores:

- i) a rota r contém ou não a pernada definida pela missão k. Se negativo, $V_{rsk} = 0$ qualquer que seja o tipo s; se positivo V_{rsk} poderá ser diferente de zero;
- ii) o navio s transporta ou não a mercadoria da missão de transporte k. Se negativo, $V_{rsk} = 0$ qualquer que seja a rota r; se positivo V_{rsk} poderá ser diferente de zero;
- iii) se a rota r inclui a pernada da missão k e o navio do tipo s transporta a mercadoria desta missão, então, em princípio, V_{rsk} é igual à máxima capacidade de transporte do navio para esta mercadoria. Pode acontecer que, nestas condições, o calado de projeto do navio seja superior ao permitido nos portos visitados na missão k. Neste caso V_{rsk} será reduzido para a quantidade transportada pelo navio quando operando no calado limitante dos portos, desde que este seja superior a 75% do calado de projeto. Para efetivar esta redução é utilizado o valor da TCI do navio (toneladas por centímetro de imersão);
- iv) nas rotas com canal pode acontecer também restrições a V_{rsk} . Naturalmente que se o comprimento ou a boca do navio s for tal que seja impedida sua passagem pelo canal, V_{rsk} é feito igual a zero. Quanto à profundidade do canal pode ocorrer o mesmo tipo de restrição abordado em iii).

3.5.2 - Restrições propriamente ditas

Considerando o exposto em 3.5.1 pode-se escrever para cada missão de transporte k :

$$\sum_r \sum_s V_{rsk} x_{rs} = d_k$$

onde V_{rsk} como definido em 3.5.1

x_{rs} = número de viagens redondas/ano dos navios s na rota r

d_k = quantidade a ser transportada por ano na missão k

3.6 - Restrições devidas às percentagens de navios afretados

Para cada tipo de navio s são impostas as restrições:

$$\text{per1}_s \leq \frac{na_s}{np_s + na_s} \leq \text{per2}_s$$

onde per1_s = limite inferior para a participação de navios afretados do tipo s no total destes navios.

per2_s = limite superior para a participação de navios afretados do tipo s no total destes navios.

Essas restrições são representadas de uma forma análoga pelas inequações:

$$\text{per1}_s np_s + (\text{per1}_s - 1)na_s \leq 0$$

$$\text{per2}_s np_s + (\text{per2}_s - 1)na_s \geq 0 \quad \text{para cada } s$$

3.7 - Restrições devidas aos limites superiores

Definindo-se ps_s e cs_s como número máximo de navios próprios e afretados do tipo s , respectivamente, pode-se escrever as seguintes restrições simples para cada s :

$$np_s \leq ps_s$$

$$na_s \leq cs_s$$

3.8 - A função objetivo

A função objetivo lucro anual tem como equação:

$$\text{lucro/ano} = \sum_r \sum_s (f_{rs} - cv_{rs})x_{rs} - \sum_s (cf_s + cc_s)np_s - \sum_s ca_s na_s$$

Nesta equação tem-se:

f_{rs} = receita auferida por um navio do tipo s quando efetuando uma viagem redonda na rota r

cv_{rs} = custo variável (combustível + despesas portuárias) de um navio do tipo s quando efetuando uma viagem redonda na rota r

x_{rs} = número de viagens redondas/ano dos navios do tipo s na rota r

cf_s = custo fixo anual de um navio próprio do tipo s (manutenção e reparo, seguro, salários da tripulação, ... - não inclui custo do capital para aquisição ou substituição do navio)

cc_s = custo anual do capital necessário para a aquisição ou reposição de um navio do tipo s

ca_s = custo anual de afretamento de um navio do tipo s em regime de contrato a termo.

No caso particular de custo anual os valores de f_{rs} são feitos iguais a zero e tem-se:

$$\text{custo/ano} = \sum_r \sum_s cv_{rs} x_{rs} + \sum_s (cf_s + cc_s) np_s + \sum_s ca_s na_s$$

A forma como cada um destes valores é introduzido no modelo encontra-se descrito no item 4.1.

3.9 - O Processo de Solução

Dos itens 3.2, 3.3.2, 3.4, 3.5.2, 3.6, 3.7 e 3.8 pode-se enunciar o modelo matemático adotado:

$$\text{maximizar } \sum_r \sum_s (f_{rs} - cv_{rs}) x_{rs} - \sum_s (cf_s + cc_s) np_s - \sum_s ca_s na_s$$

$$\text{ou minimizar } \sum_r \sum_s cv_{rs} x_{rs} + \sum_s (cf_s + cc_s) np_s + \sum_s ca_s na_s$$

sujeito a:

$$\sum_r t_{rs} x_{rs} - \text{ANO } np_s - \text{ANO } na_s \leq 0 \quad s = 1, \dots, S$$

$$\sum_s (np_s - es_s) I_s \leq I$$

$$\sum_r \sum_s v_{rsk} x_{rs} = d_k \quad k = 1, \dots, K$$

$$\text{per1}_s np_s + (\text{per1}_s - 1) na_s \leq 0 \quad s = 1, \dots, S$$

$$\text{per2}_s np_s + (\text{per2}_s - 1) na_s \geq 0 \quad s = 1, \dots, S$$

$$e es_s \leq np_s \leq ps_s \quad s = 1, \dots, S$$

$$as_s \leq na_s \leq cs_s \quad s = 1, \dots, S$$

$$es_s ; as_s \geq 0 \quad s = 1, \dots, S$$

$$x_{rs} \geq 0 \quad s = 1, \dots, S; r = 1, \dots, R$$

sendo S = número de tipos de navios
 R = número de rotas
 K = número de missões de transporte

A solução deste problema de programação linear é obtida por meio de um programa de computador o qual será descrito no próximo capítulo. Quanto ao método empregado adotou-se o simplex original com variáveis limitadas superiormente. Neste simplex - são encontradas as seguintes diferenças principais em relação ao simplex regular:

a) definição de solução básica - no simplex com variáveis limitadas superiormente uma solução básica viável é aquela na qual as variáveis não básicas valem zero ou seus limites superiores;

b) regra para escolha da variável a entrar na base - se o algoritmo for de minimização, em uma iteração qualquer, as variáveis não básicas com valor zero e coeficiente de utilidade relativa negativo, juntamente com aquelas em seus limites superiores com esse coeficiente positivo (caso em que ao entrarem na base terão seus valores diminuídos) formam o conjunto das variáveis candidatas à base;

c) regra para escolha do pivô - para melhor entendimento desta regra defina-se o seguinte problema de programação linear:

$$\begin{aligned} &\text{minimizar } \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ &\text{tal que } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i \quad i = 1, 2, \dots, m \\ &\quad x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\ &\quad x_j \leq \alpha_j \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

onde α_j são os limites superiores das variáveis do problema.

Chamando N o conjunto dos índices $j = 1, 2, \dots, n$ e, similarmente, M o conjunto dos $i = 1, 2, \dots, m$, seja N_1 uma base viável para o sistema $Ax = b$ acima. Os índices das variáveis

veis pertencentes a N_1 serão designadas por j_1, j_2, \dots, j_m . Desse modo $Ax = b$ pode ser escrito na forma canônica em relação à base N_1 da seguinte forma:

$$x_{j_i} + \sum_{\substack{j \in N_1 \\ j \neq i}} \bar{a}_{ij} x_j = \bar{b}_i \quad i \in M \quad (1)$$

De acordo com a definição de solução básica apresentada anteriormente, alguns x_j , $j \notin N_1$, poderão estar em seus limites superiores α_j . Sendo s o índice da variável não básica escolhida para entrar na base, o sistema (1) pode ser re-escrito assim:

$$x_{j_i} + \bar{a}_{is} x_s = \bar{b}'_i \quad i \in M \quad (2)$$

onde $\bar{b}'_i = \bar{b}_i - \sum_{\substack{j \in N_1 \\ j \neq s}} \bar{a}_{ij} x_j$

Na escolha do pivô dois casos podem acontecer:

i) $x_s = 0$ antes de entrar na base

Neste caso x_s deve crescer até o menor dos seguintes valores:

α_s (limite superior de x_s)

$\bar{b}'_i / \bar{a}_{is}$ para todos $i \in M$ e $\bar{a}_{is} > 0$

$(\bar{b}'_i - \alpha_{j_i}) / \bar{a}_{is}$ para todos $i \in M$ e $\bar{a}_{is} < 0$

ii) $x_s = \alpha_s$ antes de entrar na base

Neste caso x_s deve diminuir até o maior do seguintes valores:

0 (limite inferior de x_s)

$\bar{b}'_i / \bar{a}_{is}$ para todos $i \in M$ e $\bar{a}_{is} < 0$

$(\bar{b}'_i - \alpha_{j_i}) / \bar{a}_{is}$ para todos $i \in M$ e $\bar{a}_{is} > 0$

Em ambos os casos a variável a deixar a base será determinada pelo índice $i \in M$ que define o novo valor de x_s , exceção feita, naturalmente, quando x_s evoluir para α_s , ou 0, respectivamente em i) e ii). Nestas últimas condições não ocorrem mudanças da base e pivotagem, alterando-se tão somente os valores \bar{b}'_i .

A fixação dos números mostrados em i) e ii) decorre do fato de que x_s ao entrar na base não deve inviabilizar a nova solução básica procurada. Assim, leva-se em consideração, ao se modificar o valor de x_s , não só seus próprios limites $(0, \alpha_s)$ como também os limites das demais variáveis básicas, 0 e α_{j_i} .

3.10 - Solução ótima mista

O problema enunciado em 3.9 deveria ser, rigorosamente, de programação linear mista uma vez que as variáveis np_s e na_s não podem apresentar valores não inteiros (não se pode ter número fracionário de navios). Porém é de reconhecida dificuldade a obtenção de soluções inteiras para problemas de programação linear, notadamente de problemas com grandes dimensões. Como será indicado no capítulo 4 o programa de computador desenvolvido neste trabalho permite a solução de problemas com até 40 missões de transporte, 7 tipos de navios e 50 rotas. Para esta capacidade o problema de programação linear pode ter 364 variáveis originais e 62 equações de restrição. Assim sendo não se considerou prática a implantação de um método de solução de problemas mistos como os de enumeração ou de qualquer daqueles fundamentados em planos de corte (por exemplo método de Gomory)

Adicionalmente deve-se considerar que a solução procurada é tal que as missões de transporte são plenamente atendidas (isto porque as restrições referentes a estas missões são de igualdade). Como tais missões de transporte são baseadas em previsões, as quais, normalmente, não se confirmam na sua totalidade, decorre que o esforço na obtenção de uma solução ótima mista (variáveis inteiras np_s e na_s e reais x_{rs}) não seria, via de regra, integralmente aproveitado, pois a solução ótima assim ob-

tida poderia não o ser para o programa real de transporte que venha a ocorrer no ano em estudo.

Desse modo renunciou-se à solução perfeita para o problema a favor de outra solução que, embora aproximada, era de mais fácil obtenção.

No entanto caso se deseje obter a solução ótima mista pode-se utilizar a técnica de "branch and bound", sugerida por Land e Doig, sem que seja introduzida qualquer alteração no programa. Isto porque o emprego do simplex com variáveis limitadas superiormente e a consideração de limites inferiores para as quantidades de navios (vide 3.2 e 4.1.2) permitem que, em sucessivos processamentos, através da alteração destes limites segundo a técnica do "branch and bound", seja obtida a solução ótima mista.

No item 4.5 está apresentada uma aplicação do "branch and bound" para um problema-exemplo. Deve-se ressaltar que a técnica em si não se mostrou muito eficiente pois, considerando-se o pequeno tamanho do problema, o número de ramos requerido para obter-se a solução ótima foi superior a 45.

É importante observar que a solução ótima mista obtida no problema-exemplo mencionado é um possível arredondamento da solução real. Assim sendo, uma vez que as variáveis np_s e na_s são limitadas superiormente, soluções mistas para o problema enunciado em 3.9 podem ser obtidas através das igualdades de es_s a ps_s e as_s a cs_s para todos os s , de 1 a S (vide 3.9). Portanto uma solução mista, não necessariamente ótima, decorrente do arredondamento da solução ótima real pode ser analisada pelo programa em um simples processamento, no qual seriam igualados os limites inferiores e superiores das variáveis np_s e na_s conforme sugerido anteriormente.

Embora não haja qualquer garantia de se obter a solução ótima através da ação recomendada no paragrafo anterior, os exemplos processados durante a construção do programa indicaram que a solução mista assim obtida não conduz a um valor da função objetivo muito distante do esperado na solução real. Possivelmente esta é uma característica favorável do problema proposto, somente evidenciada nestes exemplos.

3.11 - Sensibilidade da Solução Ótima

Sob este título o programa de computador imprime, após informar a solução ótima, os multiplicadores (variáveis do dual) - relativos às equações de restrição geradas pelas missões de transporte. Estas equações são da forma

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S V_{rsk} x_{rs} = d_k$$

conforme pode ser visto em 3.5.

Desse modo os multiplicadores destas equações representam a mudança na função objetivo para uma variação unitária de um fluxo d_k , mantidos constantes todos os demais coeficientes do problema.

Esta é uma informação de grande importância pois indica ao usuário do programa que fluxos de transporte são mais ou menos rentáveis (ou custosos se estiver minimizando o custo total/ano).

Adotando-se a nomenclatura do item 3.9 c), e acrescentando-se a hipótese de ser completa a característica da matriz dos coeficientes a_{ij} das restrições, pode-se enunciar o critério que indica que uma solução básica viável é ótima no simplex com variáveis limitadas superiormente por:

"a base será ótima quando

$$\begin{array}{l} \text{para } j \notin N_1 \\ \text{-se } x_j = 0, \quad \bar{c}_j = c_j - \sum_{i=1}^m a_{ij} u_i \geq 0 \\ \text{-se } x_j = \alpha_j, \quad \bar{c}_j = c_j - \sum_{i=1}^m a_{ij} u_i \leq 0 \end{array}$$

onde u_i são os multiplicadores das m equações de restrição"

Estes multiplicadores são determinados pelo sistema de equações lineares.

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} u_i = C_j \quad j \in N_1$$

Desse modo os u_i são números tais que tornam zero os coeficientes \bar{c}_j , para $j \in N_1$, da função objetivo, obtidos pela combinação linear $\bar{c}_j = c_j - \sum_{i=1}^m a_{ij} u_i$, $j \in N$ (\bar{c}_j são os coeficientes da função objetivo na forma canônica em relação à base N_1).

O exposto anteriormente permite concluir:

- 1) os multiplicadores não dependem do vetor de restrição (b_1, b_2, \dots, b_m) ;
- 2) os multiplicadores dependem da base em consideração;
- 3) alterações no vetor (b_1, b_2, \dots, b_m) não tornam a base não ótima, ou seja, as condições de base ótima não dependem de (b_1, b_2, \dots, b_m) .

Portanto, sendo os d_k componentes do vetor b do problema proposto neste trabalho, alterações em seus valores não modificam a condição de ser ótima a base correspondente à solução encontrada. Entretanto esta base pode tornar-se inviável face às alterações de d_k . Assim sendo, o programa foi preparado para informar entre que valores os d_k podem ser modificados, isoladamente, sem que causem inviabilidade da base ótima, mantendo, portanto, inalterada a solução básica encontrada e, conseqüentemente, os valores dos multiplicadores.

4. O PROGRAMA DE COMPUTADOR

4.1 - Estrutura Básica do Programa

4.1.1 - Considerações Gerais

O programa pode ser dividido em 3 partes principais. A primeira inclui todas as instruções de leitura de dados, de impressão destes dados para conferência, de montagem dos arquivos para utilização posterior (de mercadorias, de portos, de distâncias e de rotas) e, principalmente, aquelas instruções que executam a montagem do problema como indicado em 3.9. A segunda parte consiste das instruções que estabelecem o problema auxiliar (utiliza-se a função objetivo auxiliar igual à soma das variáveis artificiais introduzidas) e daquelas relativas ao algoritmo simplex original modificado para considerar os limites superiores das diversas variáveis. Na terceira parte encontram-se as instruções de impressão dos resultados obtidos.

Uma descrição detalhada de todos os passos desenvolvidos no programa seria muito extensa, razão pela qual são apontados nos itens subsequentes somente aqueles mais importantes.

4.1.2 - Variáveis Efetivamente Usadas

Conforme pode ser visto no item 3.9, as variáveis np_s e na_s podem ter limites inferiores maiores do que zero. Estes limites são representados pelos símbolos es_s e as_s respectivamente.

O programa trabalha com as variáveis np'_s e na'_s relacionados com as originais np_s e na_s pelas seguintes expressões:

$$\begin{aligned} np'_s &= np_s - es_s & e \\ na'_s &= na_s - as_s \end{aligned}$$

Estas novas variáveis são limitadas inferiormente em zero da mesma forma que o são as demais variáveis do problema - (x_{rs}). Todas as equações de restrição e da função objetivo mostradas em 3.9 foram modificadas para levarem em consideração as variáveis np'_s e na'_s .

4.1.3 - Restrição de Calado

Conforme exposto em 3.5.1 a quantidade de carga transportada (V_{rsk}) pode ser afetada por alguma restrição de calado existente nos terminais visitados na missão k. Nestes casos o programa foi preparado para admitir a operação do navio na missão desde que seu calado seja superior a 75% do calado para o qual foi projetado. Esta percentagem pode ser facilmente modificada e procura representar um limite inferior para o carregamento do navio, abaixo do qual não seria econômico operá-lo.

Em qualquer caso o cálculo da quantidade de carga efetivamente carregada pelo navio quando operando em calado parcial é feito pela expressão:

$$\text{quantidade de carga no calado } H = \text{DWTN} - \text{TCI} \times (\text{HN} - H) \times 100$$

onde DWTN = tonelada de porte bruto de projeto

TCI = toneladas por centímetro de imersão

HN = calado de projeto em metros

H = calado de operação em metros.

Portanto admite-se que a operação em calado parcial não provoca trim e mais. que o valor de TCI de projeto não se modifique, pelo menos substancialmente, com o calado. Esta segunda hipótese é aceitável, notadamente para os maiores navios, sendo que nestes casos é que restrições causadas pelas profundidades dos terminais podem ocorrer com frequência.

4.1.4 - Valor da TCI (toneladas por centímetro de imersão)

A TCI de um tipo de navio é um dos dados de entrada (ver 4.4). Entretanto, sendo desconhecido este valor, o usuário pode deixar em branco o campo reservado para ele no cartão, pois foi colocado no programa a expressão que permite calcular a TCI a partir do coeficiente de linha d'água (CW), do comprimento (L) e da boca (B), qual seja:

$$TCI = (CW \times L \times B \times 1,025)/100$$

Neste caso o valor de CW é estimado pela fórmula

$CW = 1 - 0,182 \times V/\sqrt{L}$ onde V é a velocidade do navio em nós sendo V, L e B dados obrigatoriamente lidos.

Esta expressão para CW foi obtida por regressão - na qual foram utilizados dados conhecidos de mais de 100 navios graneleiros com tonelagem de porte bruto superior a 20000 toneladas.

4.1.5 - Rotas com Canal

O programa foi preparado para receber como entrada rotas que incluem ou não um canal. No momento somente os canais de Suez e Panamá foram considerados. Conforme será visto em 4.4 a inclusão de um canal em uma rota não altera a forma de entrada no programa. Simplesmente o nome do canal deve ser inserido na descrição da rota na posição em que realmente o canal aparece na mesma. Internamente o programa verifica que navios podem operar nesta rota, levando em consideração não só o comprimento e a largura como também a profundidade do canal. As dimensões dos canais foram colocadas em instruções DATA para maior facilidade de atualização.

Também o tempo de espera mais o de travessia constante da instrução DATA anteriormente mencionada para permitir os cálculos dos tempos de viagem redonda.

Quanto aos custos decorrentes da utilização do canal adotou-se como base de cálculo o preço por tonelagem de registro líquida ("net register tonnage"). Para tanto, para cada tipo de navio, as tonelagens de registro líquida em Suez e Panamá são dados de entrada.

4.1.6 - Cálculo da Função Objetivo

No item 3.8 foram apresentadas as funções objetivo - inseridas no modelo, lucro e custo total anual.

Tanto na avaliação do lucro quanto do custo foi dada uma ênfase econômica e não financeira. Desse modo os valores impressos pelo programa diferem do lucro ou custo contábil que a empresa deverá ter no fim do exercício. Isto porque foram acrescentadas parcelas de custo referentes a recursos que deveriam ser capitalizados ao longo da vida útil dos navios de forma a permitir a substituição desses navios por outros de igual valor.

A seguir é feita uma descrição de como cada parcela das funções objetivo é considerada pelo programa:

$$i) \text{ Receita } \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S f_{rs} x_{rs}$$

f_{rs} = receita auferida por um navio do tipo s - quando efetuando uma viagem redonda na rota r .

Os valores de f_{rs} são calculados pelo programa a partir das taxas de frete em US\$/T auferidas por cada tipo de navio quando operando em cada missão, as quais são dados de entrada (vide 4.4).

$$ii) \text{ Custo variável } \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S cv_{rs} x_{rs}$$

cv_{rs} = custo operacional de um navio do tipo s quando efetuando uma viagem redonda na rota r .

Na avaliação de cv_{rs} são consideradas as despesas com combustível em viagem, combustível no porto e despesas portuárias. Para tanto os preços do óleo diesel e do óleo combustível para a propulsão são dados lidos pelo programa (vide 4.4). Da mesma forma é introduzido como dado de entrada uma taxa de utilização do terminal em dólares por tonelada métrica de carga movimentada. Esta taxa não deve considerar simplesmente a ocupação do terminal em si mas também as despesas associadas tais como aquelas devidas ao consumo de água, de energia, ao recheio da carga nos porões, etc... Portanto sugere-se adotar uma margem para estes gastos. Adicionalmente, para cálculos das despesas com combustível são utilizados os tempos de viagem e porto como indicados em 3.3.1.

iii) Custos fixos $\sum_{s=1}^S cf_s np_s$

Estes custos dizem respeito às despesas anuais com salários da tripulação, com manutenção e reparo, com seguro, e outros que qualquer que seja o emprego do navio estejam presentes.

Os valores de cf_s são dados lidos pelo programa.

iv) Custos de afretamento $\sum_{s=1}^S ca_s na_s$

Somente são considerados os contratos de afretamento a termo. A característica ampla de emprego do modelo matemático descrito em 3.9 não se concilia com fatos de curta duração e, frequentemente, imprevisíveis, que identificam os contratos de afretamento por viagem. Estes contratos são utilizados para atender a necessidades normalmente imprevistas.

Desse modo, o custo de afretamento ca_s subentende aquele valor que o afretador paga ao proprietário do navio - por ano, em troca do aluguel da embarcação já com tripulação, com apoio de manutenção e demais encargos fixos incluídos no frete.

Os valores de ca_s são dados lidos pelo programa.

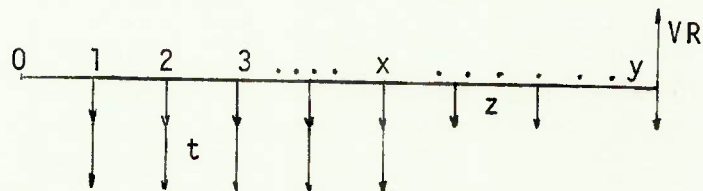
$$v) \text{ Custo do capital } \sum_{s=1}^S c c_s n p_s$$

Uma melhor explicação desta parcela de custo requer o estabelecimento de algumas hipóteses e o conhecimento do padrão de financiamento em vigor no setor da construção naval. Atualmente a SUNAMAM financia até 80% do preço do navio, em até 15 anos, a juros de 8% ao ano. Isto significa que o armador deve possuir pelo menos 20% do preço de cada navio que pretenda adquirir. Normalmente estes 20% são desembolsados em 3 parcelas iguais durante a construção do navio, sendo que os pagamentos relativos ao financiamento são feitos após a entrega do mesmo.

Isto posto, foram estabelecidas as seguintes hipóteses:

- os termos atuais do financiamento para compra de navios não serão alterados;
- economia não inflacionária;
- a empresa procurará capitalizar anualmente o suficiente para no fim da vida útil de cada navio ter capacidade de reposição através de financiamento da SUNAMAM. Portanto, a companhia deverá ter no fim da vida útil do navio um capital equivalente a 20% de seu preço;
- é admitida uma taxa de atratividade para a empresa de $j\%$.

Do exposto pode ser montado o seguinte fluxo de caixa relativo aos custos anuais de capital de cada navio próprio:



- onde
- 0 = data da entrega
 - x = prazo do financiamento
 - y = vida útil do navio
 - VR = valor residual no fim da vida útil (usualmente inferior a 20% do preço)
 - z = quantia a ser capitalizada anualmente para que, no fim da vida útil, somada ao valor residual tenha-se 20% do pre-

ço do navio.

t = desembolso anual para pagamento do financiamento de 80% do preço do navio.

Generalizando, seja I o preço do navio, B a % financiada desse preço e k a taxa de juros do financiamento.

O cálculo de z (vide fluxo de caixa) é feito pela expressão

$$z = \frac{(1-B'-C') I j'}{(1+j')^{y+1} - (1+j')} \quad \text{onde } \begin{aligned} j' &= j/100, \\ B' &= B/100 \text{ e} \\ C' &= VR/I \end{aligned}$$

e j é a taxa de atratividade da empresa.

O pagamento t é calculado pelo programa pela expressão:

$$t = B' I \left[\frac{k'}{1 - (1+k')^{-x}} \right] \quad \text{onde, } \begin{aligned} k' &= k/100 \text{ e} \\ B' &= B/100 \end{aligned}$$

O custo anual cc_s é obtido somando-se a parcela anual z calculada anteriormente um valor t' equivalente às parcelas t de pagamento do financiamento. Para determinar o valor t', inicialmente os pagamentos t são trazidos ao valor presente pela taxa de atratividade j e somados pela expressão:

$$T = t \left[\frac{1 - (1+j')^{-x}}{j'} \right] \quad \text{onde } j' = j/100$$

Em seguida este valor de T é distribuído pela vida útil do navio, na mesma taxa de atratividade j, pela expressão abaixo, a qual define t' :

$$t' = T \left[\frac{j'}{1 - (1+j')^{-y}} \right] \quad \text{onde. } j' = j/100$$

Assim sendo, o custo de capital cc_s é igual a

$$cc_s = (z)_s + (t')_s$$

Os valores do prazo do financiamento, do valor residual como percentagem do preço do navio, das taxas de juros e atratividade, da duração da vida útil, da percentagem do preço do navio e deste preço são dados lidos pelo programa.

Assim sendo, as funções objetivo são:

a) lucro bruto/ano

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S (f_{rs} - cv_{rs}) x_{rs} - \sum_{s=1}^S (cc_s + cf_s) np_s - \sum_{s=1}^S ca_s na_s$$

b) custo total/ano

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S cv_{rs} x_{rs} + \sum_{s=1}^S (cc_s + cf_s) np_s + \sum_{s=1}^S ca_s na_s$$

4.1.7 - Mensagens de Interrupção

O programa foi desenvolvido com bastante recursos para detecção de erros de dados, notadamente erros de perfuração de cartões. Em todos os casos previstos o programa é interrompido sendo impressa uma mensagem com o motivo da paralização.

Por exemplo, são causas de interrupção:

- i) a omissão dos dados de um terminal de interesse para o problema;
- ii) a inexistência de pelo menos um navio que efetue o transporte da carga de cada missão.

4.2 - Formas de Utilização

4.2.1 - Considerações Gerais:

São feitas a seguir algumas recomendações com vistas à preparação dos dados de entrada (ver 4.4):

- a) deve-se definir o problema de transporte através da caracterização das missões, ou seja, o que, quanto e de onde para onde deverá ser transportado. O total de missões não deverá exceder 40;
- b) conhecidos os fluxos de transporte deve-se preparar o conjunto das rotas exclusivas das missões, que são aquelas rotas com uma perna de carga (a da missão) e o retorno em lastro;
- c) em seguida deve-se selecionar as rotas que combinam mais de uma missão. O total de rotas (item b + item c) não deve exceder 50;
- d) das rotas acima devem ser identificadas as pernas em lastro (exceção feita àquelas das rotas exclusivas) e aquelas que incluem um canal;
- e) para os terminais constantes das rotas selecionadas devem ser preparados os dados de calado máximo permitido, tempo de espera médio, taxa de manuseio de carga e taxa portuária;
- f) também serão necessárias as características de cada tipo de navio a ser estudado. Maiores detalhes são encontrados no item 4.4, grupo 7 de cartões. São permitidos no máximo 7 tipos de navio;

g) deve ser tomado cuidado especial na perfuração dos dados alfabéticos . No programa essas variáveis são de dupla precisão admitindo um máximo de 12 letras. Todas as vezes que a mesma palavra for introduzida, a perfuração no campo de 12 colunas deve ser feita absolutamente na mesma posição, pois em caso contrário haverá - interrupção do processamento.

4.2.2 - Dimensionamento da Frota Ótima

Este emprego do programa permite ao usuário definir quais e quantos navios deve comprar e afretar de forma que, atendendo às missões de transporte, seja máximo o lucro anual ou, alternativamente, seja mínimo o custo total/ano.

Paralelamente é obtida a distribuição da frota - ótima pelas rotas analisadas, distribuição esta necessária para que se verifique o lucro ou custo informado pelo programa. O programa imprime quantas viagens redondas por ano os navios devem - fazer nas diversas rotas.

Também é informado ao usuário quais as missões - mais e menos rentáveis ou custosas (se se estiver minimizando - custo). Desse modo o utilizador toma conhecimento dos fluxos de transporte mais adequados, permitindo-lhe concentrar sua atenção naqueles fluxos críticos, seja pelo fato de serem mais rentáveis ou mais onerosos para a empresa.

Eventualmente para um dado problema pode não haver solução viável. Neste caso o programa informa uma relação de causas possíveis para a inviabilidade. Poderão ser frequentes os casos de inviabilidade causados pela falta de recursos para aquisição de novos navios.

Na maximização do lucro bruto anual são informados adicionalmente a receita total/ano, o custo total/ano e o custo fixo/ano. Quando minimizando custo são obtidos o custo total/ano, o custo fixo/ano e o custo variável/ano.

É importante salientar que a opção da função objetivo a ser usada é feita automaticamente pelo programa. Quando não são dados os valores dos fretes auferidos pelos navios o programa adota a função objetivo custo total/ano. Caso contrário, basta que um frete seja informado para que seja adotada a função lucro bruto anual.

4.2.3 - Distribuição de uma Frota pelas Rotas

Considerando que os planejamentos para aquisição de novos navios são feitos a intervalos de tempo não muito curtos, procurou-se idealizar uma aplicação secundária para o programa que o tornasse útil com maior frequência. Trata-se do caso de se planejar as atividades da empresa para um ano qualquer, no qual não se pretende adquirir nenhum navio.

Para tanto é necessário fazer a variável RECUR igual a zero (vide 4.4, grupo 1 de cartões). Da mesma forma os limites superiores das variáveis "número de navios próprios (np_s)" e "número de navios afretados" (na_s) devem ser feitos iguais aos limites inferiores destas mesmas variáveis e, ambos os limites, iguais aos números desses navios, respectivamente próprios e afretados, existentes na frota.

Desse modo o problema fica restrito a determinação das variáveis x_{rs} (vide 3.9) as quais representam, na solução, a distribuição ótima dos navios pelas rotas.

Como em 4.2.2, poderá não haver solução viável para o problema. Também aqui serão apontadas as causas possíveis para inviabilidade. Recomenda-se que, sempre que se utilizar este modo de operação do programa, os dados de entrada $per1_s$ sejam todos feitos iguais a zero, qualquer que seja o tipo de navio e, também, que $per2_s$ sejam 100. (para melhor entendimento ver 4.4, grupo 7 de cartões e 3.6).

Esta forma de utilização é particularmente importante quando se deseja analisar a atuação de uma frota derivada por arredondamento da solução real obtida pelo processamento em 4.2.2 (ver 3.10). Naturalmente que se o arredondamento for feito pelo abandono simples das partes fracionárias da solução real, - não haverá navios suficientes para efetivar os transportes desejados, ocasionando uma mensagem de inviabilidade no processamento. Assim a geração da solução mista preconizada no item 3.10 po de requerer alguma habilidade na geração da frota por parte do utilizador do programa.

Finalmente deve-se mencionar que aqui, como no - item 4.2.2, pode ser utilizado tanto a função objetivo lucro bru to/ano como custo total anual. Do mesmo modo é feita a impressão da sensibilidade da função objetivo na solução ótima para variações nos fluxos de transporte (vide 3.11).

4.3 - Restrições de Emprego

O programa possui as seguintes restrições de uso:

- i) está escrito em FORTRAN IV-G, requerendo, portanto, um compilador para esta linguagem;
- ii) o programa foi desenvolvido para o computador Burroughs B/6700 do Centro de Computação Eletrônica da USP. Processamentos em computadores com palavras diferentes (por exemplo IBM 370/158, IBM 1130, PDP 15, etc...) exigem alterações, principalmente, no tratamento dos dados alfabéticos;
- iii) no momento os seguintes números máximos são - permitidos:

| | |
|---|-------|
| número máximo de rotas | = 50 |
| número máximo de tipos de navio | = 7 |
| número máximo de missões | = 40 |
| número máximo de terminais | = 100 |
| número máximo de terminais por rota | = 20 |
| número máximo de mercadorias diferentes | = 20 |

iv) uma rota não pode incluir a mesma missão mais do que uma vez. Por exemplo, esta rota não é válida:

TUBARÃO-BALTIMORE-TAMPA-SANTOS-TUBARÃO-BALTIMORE-TUBARÃO.

Sugere-se para contornar esta restrição a adoção de duas ou mais rotas em substituição à rota acima:

rota 1: TUBARÃO-BALTIMORE-TAMPA-SANTOS-TUBARÃO

rota 2: TUBARÃO-BALTIMORE-TUBARÃO

v) não são permitidas rotas em que haja carregamentos ou descargas parciais. Deve ser lembrado que os navios ao operarem em uma pernada o fazem plenamente carregados (eventualmente, caso haja restrição de calado, estarão com o máximo de carga permitida pela profundidade mínima na pernada) ou em lastro. Esta restrição, para ser contornada, exige que seja feita uma composição dos pontos de carga ou descarga, criando-se um ponto virtual que seja responsável pela soma dos carregamentos parciais. Deve-se tomar cuidado para se avaliar aceitavelmente a distância até este ponto virtual bem como suas características (taxa de manuseio de carga, despesas portuárias, etc...).

Os carregamentos e descarregamentos parciais aqui mencionados são aqueles devidos a restrições de calado em algum dos pontos de carga ou descarga. Eventualmente questões relativas à capacidade de estocagem nos portos, as quais obrigam os navios a serem carregados ou descarregados parcialmente, poderão ser abordadas da mesma maneira;

vi) não é permitido que entre dois terminais haja fluxo de transporte no mesmo sentido de duas mercadorias diferentes. Assim, uma das duas missões abaixo precisa ser modificada:

AÇUCAR SANTOS - NEW YORK $1,2 \times 10^6 T$

MILHO SANTOS - NEW YORK $1,4 \times 10^6 T$

Para contornar esta situação basta que um dos terminais, em qualquer das duas missões, seja denominado diferente. Por exemplo, seria válido:

AÇUCAR SANTOS 1 - NEW YORK $1,2 \times 10^6 T$

MILHO SANTOS 2 - NEW YORK $1,4 \times 10^6 T$

Muitas vezes será necessário denominar diferentemente um mesmo porto (razão pela qual o nome utilizado neste texto é terminal), não só pelo motivo anterior como também porque é frequente as características de terminais especializados num mesmo porto diferirem consideravelmente (calado máximo, tempo de espera médio, etc...).

Uma terceira situação poderá ocorrer:

AÇUCAR SANTOS TAMPA $1 \times 10^6 T$

FERTILIZANTE TAMPA SANTOS $2 \times 10^6 T$

Neste caso, em termos de missões não há incompatibilidade uma vez que o sentido do transporte não é o mesmo. Mas, ao se preparar o conjunto de rotas (vide 4.2.1), ter-se-á que submeter ao programa uma rota exclusiva para cada missão. No caso abordado - isto não será possível pois a rota SANTOS-TAMPA-SANTOS não é exclusiva de nenhuma das duas missões. Corre-se o risco, portanto, de não ser possível compatilizar a exportação de açúcar com a importação de fertilizante, não se encontrando solução viável para o problema. Uma forma de se eliminar esse risco seria adotar as missões e rotas abaixo:

AÇUCAR SANTOS-TAMPA 1 $1 \times 10^6 T$

FERTILIZANTE TAMPA2-SANTOS $2 \times 10^6 T$

rota exclusiva do açúcar: SANTOS-TAMPA1-SANTOS

rota exclusiva do fertil. SANTOS-TAMPA2-SANTOS

rota combinada : SANTOS-TAMPA1-TAMPA2-SANTOS.

Nesta última rota a distância entre TAMPA1 e TAMPA2 seria feita igual a zero.

4.4 - Dados de Entrada

Grupo 1 de cartões. (dados gerais)

Este grupo constitui-se em um só cartão, através do qual são introduzidas as variáveis abaixo:

* Cartão único FORMATO(8F8.0 2I2,I4,2F4.0)

PROD = preço em dólares da tonelada métrica de óleo diesel

PRICE = preço em dólares da tonelada métrica de óleo combustível(máquinas principais)

ATV = taxa de atratividade em percentagem - (p.e., 60%)

PERC1 = percentagem financiada do preço do navio

PERC2 = valor residual expresso em percentagem - do preço do navio, no fim da vida útil

TJURO = taxa de juros do financiamento em percentagem

ANO = ano operacional dos navios em dias

RECUR = quantidade disponível de recursos para compra de novos navios em milhões de dólares

IVU = vida útil dos navios em anos

IV = prazo do financiamento em anos

LANO = ano para o qual os fluxos de transporte foram projetados

TUSU = taxa para utilização do canal de Suez em dólares/tonelagem de registro líquida (US\$/NRT)

TUPA = taxa para utilização do canal do Panamá em dólares/tonelagem de registro líquida (US\$/NRT)

Grupo 2 de cartões. (missões e fretes auferidos pelos navios)

Este grupo conterá tantos conjuntos de cartões - como o explicado a seguir quantas forem as missões de transporte. Assim, para cada missão dever-se-á ter um conjunto como o abaixo:

*Cartão i FORMATO (6A6, 2F10.0)

MERC = mercadoria a ser transportada na missão (2A6)

ORIG = terminal de origem de uma missão (2A6)

DEST = terminal de destino de uma missão (2A6)

DMIL = distância em milhas marítimas entre os dois terminais

D(K) = quantidade de carga a ser transportada - por ano em toneladas métricas

*Cartões seguintes FORMATO (I2, F10.0)

Serão tantos cartões quantos forem os tipos de navio estudados que transportam a mercadoria da missão do cartão i. O número do tipo de navio corresponde à ordem em que cada tipo será lido pelo programa (ver grupo 7 de cartões)

I = número do tipo de navio (I2)

FSK = frete do navio do tipo I quando operando na missão do cartão i em dólares/tonelada métrica (US\$/T) (F10.0)

IMP: se a função objetivo a ser utilizada for - custo total/ano não haverá estes cartões, ou seja, não devem ser informados os fretes.

*Cartões seguinte: cartão em branco

Grupo 3 de cartões: (pernadas em lastro)

Este grupo conterá as informações sobre as pernadas em lastro, que não envolvem canal. (Das rotas

exclusivas não é necessário informar as pernadas em lastro). Para cada pernada deve ser feito um cartão como o seguinte:

* Cartão FORMATO (6A6, F10.0)

MERC = deve ser perfurado a palavra LASTRO a partir da coluna 1 (2A6)

ORIG = terminal de origem da pernada (2A6)

DEST = terminal de destino da pernada (2A6)

DMIL = distância em milhas marítimas entre os dois terminais.

Grupo 4 de cartões (pernadas com passagem em canal)

Este grupo conterá as informações sobre as pernadas das rotas selecionadas que incluem a travessia de um canal. O objetivo destes cartões é informar a distância dos terminais da pernada ao canal.

Por vezes a viagem entre dois terminais constará de duas rotas diferentes sendo que em uma não há travessia por canal e na outra sim. No primeiro caso a distância navegada terá sido informada no grupo 2 de cartões (se pernada de carga) ou no grupo 3 de cartões (se pernada de lastro). No segundo caso a distância será incluída neste grupo de cartões sendo que para cada pernada devem ser feitos 2 cartões. Um para a evolução do terminal de origem ao canal e outro para a ida do canal ao terminal de destino. Estes serão lidos no mesmo formato do grupo anterior, com a diferença de que deverão ser deixados em branco as 12 primeiras colunas. Por exemplo a pernada SÃO FRANCISCO-PANAMÁ-BALTIMORE exigiria dois cartões; um para SÃO FRANCISCO-PANAMÁ (ORIG = SÃO FRANCISCO; DEST = PANAMÁ) e outro para PANAMÁ-BALTIMORE (ORIG = PANAMÁ; DEST = BALTIMORE). Nos dois cartões ORIG deve ser perfurado entre as colunas 13 e 24, DEST da coluna 25 à 36 e DMIL (distância em milhas marítimas) entre 37 e 48.

Grupo 5 de cartões: (cartão em branco)

Constará somente de um cartão em branco. Caso não haja cartões no grupo 4 este cartão em branco sucederá o último cartão do grupo 3.

Grupo 6 de cartões. (descrição das rotas)

Este grupo de cartões é responsável pela introdução das rotas selecionadas. As rotas serão informadas em cartões sucessivos sendo que cada cartão conterá 5 informes no formato - 10A6, ou seja, 12 colunas por informe.

Estes informes serão os canais ou terminais da rota, na sequência em que são visitados na mesma ou, para identificar uma nova rota, as palavras INICIO ROTA separadas por uma coluna em branco. Assim, para as rotas TUBARÃO-BALTIMORE-TUBARÃO e RIO-RASTANURA-SUEZ-DUNKIRK-RIO seriam necessários dois cartões - como os discriminados abaixo:

1º cartão com os informes: INICIO ROTA; TUBARÃO ;
BALTIMORE; TUBARÃO; INICIO ROTA

2º cartão com os informes: RIO ; RASTANURA;
SUEZ; DUNKIRK; RIO.

Importante: O primeiro e o último terminal de cada rota devem, - sempre, ser iguais. No caso do último cartão deste grupo possuir 4 ou menos informes deve-se passar para o grupo 7 de cartões. Caso contrário, ou seja, último cartão com 5 informes, deve-se - colocar um cartão em branco antes de se passar para o grupo 7.

Grupo 7 de cartões (descrição dos navios)

Este grupo conterá tantos conjuntos como o explicado a seguir quantos forem os tipos de navio a serem estudados. Assim, para cada tipo de navio dever-se-á ter um conjunto como o abaixo:

*Cartão i

FORMATO (2A6,F4.0,8F8.0)

- TNAV = tipo de navio. Deverã ser um dos seguintes tipos: ORE OIL; PETROLEIRO; GRANELEIRO; OBO. Em qualquer caso TNAV deve ser perfurado a partir da coluna 1 nas 12 primeiras colunas.
- VS = velocidade do navio em nōs
- COMP = comprimento do navio em metros
- BOCA = boca do navio em metros
- H = calado do navio em metros
- DWTN = tonelada de porte bruto de projeto em toneladas mētricas
- CONPO = consumo de ōleo no porto em toneladas mētricas/dia
- CONVI = consumo de ōleo em viagem em toneladas mētricas/dia
- PRECO = preço do navio em dōlares
- CUFIX = custo fixo anual em dōlares. Neste custo nã se incluye o custo de capital; somente as despesas - com tripulaçã, manutençã, seguros, etc...

*Cartão ii

FORMATO (10F8.0)

- CUAFR = custo anual de afretamento em dōlares
- AS = nūmero de navios afretados existentes
- CS = nūmero mǎximo de navios afretados
- ES = nūmero de navios prōprios existentes.
- PS = nūmero mǎximo de navios prōprios.
- RTSU = tonelagem līquida de registro segundo normas do canal de Suez. (zero caso o navio nã possa usar este canal).
- RTPA = tonelagem līquida de registro segundo normas do

canal do Panamá (zero caso o navio não possa usar este canal)

- PER1 = percentagem mínima de participação de navios afretados (em %)
- PER2 = percentagem máxima de participação de navios afretados (em %)
(se deixado em branco o programa adota 100%)
- TCI = toneladas por centímetro de imersão (T/cm)
(se deixado em branco o programa calcula segundo o item 4.1.4)

*Cartões seguintes FORMATO (2A6,F7.0)

Serão tantos cartões quantos forem os tipos de mercadoria transportadas pelo navio cujos dados constam dos cartões i e ii anteriores. Em cada cartão ter-se-á

- MERC = mercadoria transportada pelo navio (coluna 1 a 12)
- DESL = quantidade da mercadoria MERC, em toneladas métricas, transportada pelo navio.

*Cartão final: cartão em branco. Cada conjunto do grupo 7 deve findar com este cartão em branco.

Grupo 8 de cartões. (cartão em branco)

Consta somente de um cartão em branco.

Grupo 9 de cartões (descrição dos terminais)

Este grupo conterá os dados de tempo de espera, taxa de utilização, calado máximo e taxa de manuseio de carga dos terminais. Para cada terminal deverá ser preparado um cartão.

Cartão

FORMATO (2A6,4F7.0)

- ORIG = nome do terminal (2A6)
- CALADO = calado máximo permitido no terminal em metros
- TIME = tempo de espera médio em dias
- TAXA = taxa de manuseio de carga em toneladas métricas/
dia
- DESPO = taxa de utilização do terminal em dólares por tonelada métrica movimentada (US\$/T)
- IMP: Não devem ser informados os dados sobre os canais.

Grupo 10 de cartões (cartão em branco)

Consta somente de um cartão em branco para finalizar a massa de dados a serem lidos.

4.5 - Exemplo de Processamento

É apresentado a seguir um exemplo de processamento para dimensionamento de frota (4.2.2) com 14 rotas, 4 tipos de navio, 6 missões. Estes números são responsáveis por um problema de programação linear com 68 variáveis originais e 19 equações de restrição. Destas, 6 são de igualdades, 9 de desigualdades \leq e 4 de desigualdades \geq . Assim o problema auxiliar tem 9 variáveis de folga, 4 variáveis de excesso e 10 variáveis artificiais.

No computador B6700 do Centro de Computação Eletrônica a solução ótima foi obtida em 26 segundos de CPU.

A solução encontrada, quanto ao número de navios, está representada na tabela a seguir:

| Tipo de navio | PRÓPRIOS | AFRETADOS |
|---------------------|----------|-----------|
| ORE-OIL 126370 tdw | 1,81 | 4,23 |
| ORE-OIL 103427 tdw | 1,00 | 1,00 |
| GRANELEIRO 53000tdw | 1,00 | 1,00 |
| GRANELEIRO 37500tdw | 2,14 | 5,00 |

Para esta solução o lucro esperado ao ano é de - US\$ 15287262,00.

Para a obtenção da solução verdadeira deste problema-exemplo, na qual o número de navios são todos reais inteiros e não fracionários conforme mostrado no quadro anterior, foi utilizada a técnica de ramificação ("branch and bound") conforme sugerido em 3.10. Em anexo encontra-se a evolução desta técnica, sendo que foi empregado o processo de se ramificar sempre o ramo ainda não ramificado com maior valor da função objetivo.

Foram necessários mais do que 45 ramos e, no final dos cálculos, a solução obtida foi aquela mostrada na tabela - abaixo:

| Tipos de navio | PRÓPRIOS | AFRETADOS |
|----------------------|----------|-----------|
| ORE-OIL 126370 tdw | 2,00 | 4,00 |
| ORE-OIL 103127 tdw | 1,00 | 1,00 |
| GRANELEIRO 53000 tdw | 1,00 | 1,00 |
| GRANELEIRO 37500 tdw | 3,00 | 5,00 |

A função objetivo nesta solução valeria - US\$ 12164471,00.

É importante observar que esta solução é um dos possíveis arredondamentos da solução real anteriormente obtida.

* DIMENSIONAMENTO DE UMA FROTA DE GRANELEIROS *
* * * * *
* FLUXOS DE TRANSPORTE PREVISTOS PARA 1980 *
* * * * *

*
* DADOS DE ENTRADA *
*

 *
 * DADOS GERAIS *
 *

| | |
|---|------------|
| PRECO DA TONELADA DE OLEO COMBUSTIVEL EM US\$..... | 74.00 |
| TAXA DE ATRATIVIDADE EMPREGADA (X)..... | 11.00 |
| PERCENTAGEM DO INVESTIMENTO FINANCIADO..... | 80.00 |
| VALOR RESIDUAL EXPRESSO EM PERCENTAGEM DO PRECO DO NAVIO..... | 15.00 |
| TAXA DE JUROS DO FINANCIAMENTO (X)..... | 8.00 |
| ANO OPERACIONAL DOS NAVIOS DA FROTA (DIAS)..... | 340 |
| QUANTIDADE DE RECURSOS PARA INVESTIMENTO EM US\$..... | 4530000.00 |
| PRAZO DO FINANCIAMENTO (ANOS)..... | 15 |
| PRECO DA TONELADA DE OLEO DIESEL EM US\$..... | 110.00 |
| VIDA UTIL DOS NAVIOS DA FROTA (ANOS)..... | 15 |
| TAXA DE UTILIZACAO DE SUEZ (US\$/NRT)..... | 0.60 |
| TAXA DE UTILIZACAO DO PANAMA (US\$/NRT)..... | 0.79 |

 * DADOS GERAIS SOBRE A MISSAO *

| MISSAO | MERCADORIA | TERMINAL ORIGEM | TERMINAL DESTINO | DISTANCIA (MILHAS) | QTD. CARGA (TON/AND) |
|--------|--------------|-----------------|------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | MINERIO | TUBARAO | FUKUYAMA | 11500.00 | 3400000. |
| 2 | MINERIO | TUBARAO | GDANSK | 5847.00 | 1300000. |
| 3 | PETROLEO | PG | SAO SEBASTIAO | 8490.00 | 4500000. |
| 4 | ACUCAR | SANTOS | ROTTERDAM | 5040.00 | 900000. |
| 5 | FERTILIZANTE | CASABLANCA | SANTOS | 4236.00 | 400000. |
| 6 | CARVAO | GDYNJA | RIO | 6300.00 | 1700000. |
| | LASTRO | FUKUYAMA | PG | 6750.00 | |
| | LASTRO | SAO SEBASTIAO | TUBARAO | 350.00 | |
| | LASTRO | GDANSK | PG | 5500.00 | |
| | LASTRO | ROTTERDAM | CASABLANCA | 3000.00 | |
| | LASTRO | ROTTERDAM | GDYNIA | 900.00 | |
| | LASTRO | RIO | SANTOS | 200.00 | |
| | LASTRO | GDANSK | GDYNIA | 200.00 | |
| | LASTRO | RIO | TUBARAO | 200.00 | |
| | LASTRO | GDANSK | CASABLANCA | 3700.00 | |
| | LASTRO | SANTOS | TUBARAO | 400.00 | |
| | ***** | FUKUYAMA | SUEZ | 4000.00 | |
| | ***** | SUEZ | GDYNIA | 4200.00 | |

 *
 * DADOS SOBRE ROTAS *
 *

ROTA NUMERO - 1

TUBARAO FUKUYAMA TUBARAO

ROTA NUMERO - 2

TUBARAO GDANSK TUBARAO

ROTA NUMERO - 3

PG SAO SEBASTIAO PG

ROTA NUMERO - 4

SANTOS ROTTERDAM SANTOS

ROTA NUMERO - 5

CASABLANCA SANTOS CASABLANCA

ROTA NUMERO - 6

GDYNIA RIO GDYNIA

ROTA NUMERO - 7

TUBARAO FUKUYAMA PG SAO SEBASTIAO TUBARAO

ROTA NUMERO - 8

| | | | | |
|-------------------|-------------------|------------|--------------|------------|
| TUBARAO | GDANSK | PG | SAOSEBASTIAO | TUBARAO |
| | ROTA NUMERO - 9 | | | |
| SANTOS | ROTTERDAM | CASABLANCA | SANTOS | |
| | ROTA NUMERO - 10 | | | |
| TUBARAO | GDANSK | GDYNIA | RIO | TUBARAO |
| | ROTA NUMERO - 11 | | | |
| TUBARAO | GDANSK | CASABLANCA | SANTOS | TUBARAO |
| | ROTA NUMERO - 12 | | | |
| TUBARAO | FUKUYAMA | SUEZ | GDYNIA | RIO |
| | ROTA NUMERO - 13 | | | |
| TUBARAO SANTOS | GDANSK TUBARAO | GDYNIA | RIO | SANTOS |
| | ROTA NUMERO - 14 | | | |
| SANTOS | ROTTERDAM | GDYNIA | RIO | SANTOS |
| | | | | TUBARAO |
| | | | | ROTTERDAM |
| | | | | CASABLANCA |

 *
 * DADOS SOBRE NAVIOS *
 *

NAVIO NUMERO - 1

TIPO DO NAVIO.....ORE OIL
 VELOCIDADE.....15.50 NOS
 COMPRIMENTO.....260.00 M
 BOCA.....4.50 M
 CALADO.....16.10 M
 TCI.....107.14 T/CM
 PERC. MINIMA NAVIOS AFRET.. 40.00
 PERC. MAXIMA NAVIOS AFRET.. 70.00
 TONELAGEM REGISTRO PANAMA: 0.
 TONELAGEM REGISTRO SUEZ... 67367.

DEADWEIGHT.....126370. T
 NAVIOS PROPRIOS EXISTENTES..... 2.
 NAVIOS AFRET. EXISTENTES..... 1.
 PRECO.....US\$ 42000000.00
 CUSTO FIXO/ANO.....US\$ 14430000.00
 CUSTO AFRET./ANO.....US\$ 21440000.00
 CONS. COMB. VIAGEM..... 90.0 T/DIA
 CONS. COMB. PORTO..... 20.0 T/DIA
 NUMERO MAXIMO NAVIOS PROPRIOS... 2.
 NUMERO MAXIMO NAVIOS AFRET..... 4.

MISSAO

- 1
- 2
- 3
- 6

MERCADORIA

MINERIO
 MINERIO
 PETROLEO
 CARVAO

FRETE (US\$/T)

7.00
 7.50
 5.80
 5.50

MERCADORIA

MINERIO
 PETROLEO
 CARVAO

QTDE. CARGA (T)

126370.00
 126100.00
 127000.00

NAVIO NUMERO - 2

TIPO DO NAVIO.....ORE OIL
 VELOCIDADE.....15.60 NOS
 COMPRIMENTO.....245.00 M
 BOCA.....38.90 M
 CALADO.....15.80 M
 TCI.....87.90 T/CM
 PERC. MINIMA NAVIOS AFRET.. 40.00
 PERC. MAXIMA NAVIOS AFRET.. 70.00
 TONELAGEM REGISTRO PANAMA: 0.
 TONELAGEM REGISTRO SUEZ... 54912.

DEADWEIGHT.....103127. T
 NAVIOS PROPRIOS EXISTENTES..... 1.
 NAVIOS AFRET. EXISTENTES..... 1.
 PRECO.....US\$ 34300000.00
 CUSTO FIXO/ANO.....US\$ 20280000.00
 CUSTO AFRET./ANO.....US\$ 31500000.00
 CONS. COMB. VIAGEM..... 81.0 T/DIA
 CONS. COMB. PORTO..... 20.0 T/DIA
 NUMERO MAXIMO NAVIOS PROPRIOS... 1.
 NUMERO MAXIMO NAVIOS AFRET..... 1.

MISSAO

- 1
- 2
- 3
- 6

MERCADORIA

MINERIO
 MINERIO
 PETROLEO
 CARVAO

FRETE (US\$/T)

7.35
 9.00
 6.00
 6.00

MERCADORIA QDE. CARGA (T)

MINERIO 103127.00
 PETROLED 104000.00
 CARVAO 105000.00

NAVIO NUMERO - 3

TIPO DO NAVIO.....GRANELLEIRO
 VELOCIDADE.....16.50 NOS
 COMPRIMENTO.....218.00 M
 BOCA.....32.00 M
 CALADO.....12.40 M
 TCI.....63.47 T/CM
 PERC. MINIMA NAVIOS AFRET.. 40.00
 PERC. MAXIMA NAVIOS AFRET.. 70.00
 TONELAGEM REGISTRO PANAMA. 25102.
 TONELAGEM REGISTRO SUEZ... 29411.

DEADWEIGHT..... 53000. T
 NAVIOS PROPRIOS EXISTENTES..... 1.
 NAVIOS AFRET. EXISTENTES..... 1.
 PRECO.....US\$ 23000000.00
 CUSTO FIXO/ANO.....US\$ 1528000.00
 CUSTO AFRET./ANO.....US\$ 3498000.00
 CONS. COMB. VIAGEM..... 61.0 T/DIA
 CONS. COMB. PORTO..... 2.0 T/DIA
 NUMERO MAXIMO NAVIOS PROPRIOS... 8.
 NUMERO MAXIMO NAVIOS AFRET..... 8.

FRETE (US\$/T)

MERCADORIA

MINERIO 8.00
 MINERIO 11.00
 ACUCAR 14.50
 FERTILIZANTE 16.00
 CARVAO 8.50

MISSAO

1
 2
 4
 5
 6

MERCADORIA QDE. CARGA (T)

MINERIO 53000.00
 ACUCAR 55000.00
 CARVAO 52284.00
 FERTILIZANTE 52400.00

NAVIO NUMERO - 4

TIPO DO NAVIO.....GRANELLEIRO
 VELOCIDADE.....15.20 NOS
 COMPRIMENTO.....192.00 M
 BOCA.....27.20 M
 CALADO.....10.40 M
 TCI.....47.63 T/CM
 PERC. MINIMA NAVIOS AFRET.. 40.00
 PERC. MAXIMA NAVIOS AFRET.. 70.00
 TONELAGEM REGISTRO PANAMA: 17700.
 TONELAGEM REGISTRO SUEZ... 23500.

DEADWEIGHT..... 37500. T
 NAVIOS PROPRIOS EXISTENTES..... 3.
 NAVIOS AFRET. EXISTENTES..... 5.
 PRECO.....US\$ 14800000.00
 CUSTO FIXO/ANO.....US\$ 12800000.00
 CUSTO AFRET./ANO.....US\$ 2700000.00
 CONS. COMB. VIAGEM..... 48.0 T/DIA
 CONS. COMB. PORTO..... 2.0 T/DIA
 NUMERO MAXIMO NAVIOS PROPRIOS... 8.
 NUMERO MAXIMO NAVIOS AFRET..... 8.

FRETE (US\$/T)

MERCADORIA

MINERIO 8.50
 MINERIO 13.50
 ACUCAR 16.00
 FERTILIZANTE 18.00
 CARVAO 9.00

MISSAO

1
 2
 4
 5
 6

QTDE • CARGA (T)

MERCADORIA

| | |
|--------------|----------|
| MINERIO | 37500.00 |
| ACUCAR | 38500.00 |
| CARVAD | 37000.00 |
| FERTILIZANTE | 36300.00 |

 * DADOS SOBRE TERMINAIS *

| TERMINAL | CALADO MAXIMO (METROS) | TEMPO DE ESPERA (DIAS) | TAXA DE MANUSEIO (T/DIA) | UESPESA PORTUARIA (US\$/T) |
|---------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| PG | 25.50 | 1.0 | 270000.0 | 0.15 |
| FUKUYAMA | 16.00 | 1.0 | 56000.0 | 0.30 |
| CASABLANCA | 11.00 | 4.0 | 8000.0 | 0.35 |
| ROTTERDAM | 15.00 | 3.0 | 25000.0 | 0.50 |
| GDANSK | 11.00 | 2.0 | 10000.0 | 0.35 |
| GOYNIA | 11.50 | 2.0 | 5000.0 | 0.35 |
| SANTOS | 13.50 | 3.0 | 12000.0 | 0.35 |
| SAO SEBASTIAO | 22.50 | 2.0 | 120000.0 | 0.20 |
| TUBARAO | 22.50 | 2.0 | 192000.0 | 0.20 |
| RIO | 13.50 | 4.0 | 12000.0 | 0.40 |

* SOLUCAO OTIMA PARA O PROBLEMA *

ROTA NUMERO - 1

TUBARAO TUBARAO

NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO 3 (GRANELEIRO - 53000, T) = 1.2

ROTA NUMERO - 2

TUBARAO TUBARAO

***** NAO DEVERAO SER EFETUADAS VIAGENS NESTA ROTA.

ROTA NUMERO - 3

PG SAO SEBASTIAO PG

NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO 1 (ORE OIL - 126370, T) = 9.1

ROTA NUMERO - 4

SANTOS ROTTERDAM SANTOS

***** NAO DEVERAO SER EFETUADAS VIAGENS NESTA ROTA.

ROTA NUMERO - 5

SANTOS CASABLANCA

***** NAO DEVERAO SER EFETUADAS VIAGENS NESTA ROTA.

ROTA NUMERO - 6

GOYNIA RIO GOYNIA

***** NAO DEVERAO SER EFETUADAS VIAGENS NESTA ROTA.

ROTA NUMERO - 7

TUBARAO FUKUYAMA PG SAO SEBASTIAO TUBARAO

NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO 1 (ORE OIL) = 19.6
 NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO 2 (ORE OIL) = 8.5

ROTA NUMERO - 8

TUBARAO GDANSK PG SAO SEBASTIAO TUBARAO

***** NAO DEVERAO SER EFETUADAS VIAGENS NESTA ROTA.

ROTA NUMERO - 9

SANTOS ROTTERDAM CASABLANCA SANTOS

NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO 4 (GRANELEIRO) = 11.0

ROTA NUMERO - 10

TUBARAO GDANSK GDYNIA RIO TUBARAO

NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO 4 (GRANELEIRO) = 34.7

ROTA NUMERO - 11

TUBARAO GDANSK CASABLANCA SANTOS TUBARAO

***** NAO DEVERAO SER EFETUADAS VIAGENS NESTA ROTA.

ROTA NUMERO - 12

TUBARAO FUKUYAMA SUEZ GDYNIA RIO TUBARAO

NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO 3 (GRANELEIRO - 53000 T) = 0.0

ROTA NUMERO - 13

| | | | | | | |
|-------------------|-------------------|--------|-----|--------|-----------|------------|
| TUBARAO SANTOS | GDANSK TUBARAO | GOYNIA | RIO | SANTOS | ROTTERDAM | CASABLANCA |
|-------------------|-------------------|--------|-----|--------|-----------|------------|

***** NAO DEVERAO SER EFETUADAS VIAGENS NESTA ROTA.

ROTA NUMERO - 14

| | | | | |
|--------|-----------|--------|-----|--------|
| SANTOS | ROTTERDAM | GOYNIA | RIO | SANTOS |
|--------|-----------|--------|-----|--------|

NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO 3 (GRANELEIRO - 53000 T) = 7.2
NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO 4 (GRANELEIRO - 37500 T) = 2.1

FROTA OTIMA PARA 1980

| | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|----|------|---|-------------|---|---------|------|------|
| NUMERO DE NAVIOS | PROPRIOS | DO | TIPO | 1 | (ORE OIL | - | 126370. | T) = | 2.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | PROPRIOS | DO | TIPO | 2 | (ORE OIL | - | 103127. | T) = | 1.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | PROPRIOS | DO | TIPO | 3 | (GRANELEIRO | - | 53000. | T) = | 1.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | PROPRIOS | DO | TIPO | 4 | (GRANELEIRO | - | 37500. | T) = | 3.00 |
| | | | | | | | | | |
| NUMERO DE NAVIOS | AFRETADOS | DO | TIPO | 1 | (ORE OIL | - | 126370. | T) = | 4.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | AFRETADOS | DO | TIPO | 2 | (ORE OIL | - | 103127. | T) = | 1.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | AFRETADOS | DO | TIPO | 3 | (GRANELEIRO | - | 53000. | T) = | 1.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | AFRETADOS | DO | TIPO | 4 | (GRANELEIRO | - | 37500. | T) = | 5.00 |

FROTA ATUAL

| | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|----|------|---|-------------|---|---------|------|------|
| NUMERO DE NAVIOS | PROPRIOS | DO | TIPO | 1 | (ORE OIL | - | 126370. | T) = | 2.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | PROPRIOS | DO | TIPO | 2 | (ORE OIL | - | 103127. | T) = | 1.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | PROPRIOS | DO | TIPO | 3 | (GRANELEIRO | - | 53000. | T) = | 1.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | PROPRIOS | DO | TIPO | 4 | (GRANELEIRO | - | 37500. | T) = | 3.00 |
| | | | | | | | | | |
| NUMERO DE NAVIOS | AFRETADOS | DO | TIPO | 1 | (ORE OIL | - | 126370. | T) = | 1.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | AFRETADOS | DO | TIPO | 2 | (ORE OIL | - | 103127. | T) = | 1.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | AFRETADOS | DO | TIPO | 3 | (GRANELEIRO | - | 53000. | T) = | 1.00 |
| NUMERO DE NAVIOS | AFRETADOS | DO | TIPO | 4 | (GRANELEIRO | - | 37500. | T) = | 5.00 |

```
*****
* LUCRO BRUTO/ANO ESPERADO = US$ 12164471.76 *
*****
```

```
*****
* CUSTO FIXO/ANO ESPERADO = US$ 61939360.47 *
*****
```

```
*****
* RECEITA TOTAL/ANO ESPERADA = US$104134989.96 *
*****
```

```
*****
* CUSTO TOTAL/ANO ESPERADO = US$ 91970518.20 *
*****
```

*
* SENSIBILIDADE DA SOLUCAO ENCONTRADA *
*

| MISSAO (NUMERO) | TAXA VARIACAO DO LUCRO (US\$/T TRANSPORTADA) | FAIXA DE VALIDADE DA TAXA VARIACAO LUCRO LIMITE INFERIOR(T) | LIMITE SUPERIOR(T) |
|--------------------|--|--|--------------------|
| 1 | 2.55 | 3335174. | 3538164. |
| 2 | 10.02 | 1234789. | 1300164. |
| 3 | -0.69 | 4456993. | 4531660. |
| 4 | 11.84 | 832727. | 900170. |
| 5 | 16.08 | 399856. | 457273. |
| 6 | 6.42 | 1699854. | 1757839. |

4.6 - Listagem

C *****
 C *DIMENSIONAMENTO DE UMA FROTA DE GRANELEIROS*
 C *****

```

DIMENSION CUFIX(7),CONVI(7),CONPO(7),INDE(7),A(65,512),PER1(7),PER
12(7),FRSK(7,40),CUAFR(7),GKS(40,7),CANAL(2),RTSU(7),RTPA(7),NGS(4
220),NGR(420),C(512),VL(512)
DIMENSION CARGA(20,2),PORTO(100,2),TNAV(2),MERC(2),ORIG(2),DEST(
*2),START(2),ROTAS(10),IA(40),IB(40),IC(40),IR(60,20),HKS(40,7)
DIMENSION TIPO(7),VS(7),H(7),PRECO(7),DHTN(7),BOCA(7),COMP(7),
1TCI(7),DHT(20,7),THC(100),PROF(100),TEMPO(100),DESP(100),DIST(100,
2100),D(40),ISAI(20),ICHEG(20),TSHIP(4,2),AS(7),CS(7),PS(7),ES(7)
DATA CARGA,PORTO,TNAV,MERC,ORIG,DEST,ROTAS/258*6H /
DATA DHT,THC,A,C,IR,VL/240*0.0,33280*0.0,512*0.0,1200*0,512*0.0/
DATA CANAL,PROF1,PROF2,BOC1,BOC2,COMP1,COMP2,TIME1,TIME2/6HPANAMA,
*6HSUEZ ,11.,13.5,32.3,90.,274.3,900.,.5,1./
DATA BRANCO,TSHIP,START/6H ,6HPETROL,6HGRANEL,6HORE DI,6HOB0
* ,6HEIRO ,6HEIRO ,6HL ,6H ,6HINICIO,6H ROTA /
DATA BALST,CUSTO,LUCRO/6HLASTRO,6HCUSTO ,6HLUCRO /
DATA KR,KW/5,6/
DATA FRSK,GKS,RTSU,RTPA/560*0.0,14*0.0/
K=1

```

C *****
 C *LEITURA DOS DADOS GERAIS*
 C *****

```

READ(KR,1010)PROD,PRICE,ATV,PERC1,PERC2,TJURO,ANO,RECUR,IVU,IV,LAN
*0,TUSU,TUPA
1010 FORMAT(8F8.0,2I2,I4,2F4.0)
RECUR=RECUR*1000000.
IF(RECUR.NE.0.) GO TO 3500
WRITE(KW,5730)LAND
5730 FORMAT(1H1,26(/),32X,52(1H*)/32X,'*',50X,'*/32X,'* ALOCACAO OPERA
CIONAL DE UMA FROTA DE GRANELEIROS */32X,'*',50X,'*/32X,'*',50X,
2'*/32X,'* FLUXOS DE TRANSPORTE PREVISTOS PARA 'I7,' */32X,
3'*/50X,'*/32X,52(1H*))
GO TO 3501
3500 WRITE(KW,6000)LAND
6000 FORMAT(1H1,26(/),34X,47(1H*)/34X,1H*,45X,1H*/34X,'* DIMENSIONAMENT
10 DE UMA FROTA DE GRANELEIROS */34X,1H*,45X,1H*/34X,1H*,45X,1H*/3
24X,'* FLUXOS DE TRANSPORTE PREVISTOS PARA ',I4,' */34X,1H*,45X
3,1H*/34X,47(1H*))
3501 WRITE(KW,6002)
6002 FORMAT(1H1,26(/),51X,20(1H*)/51X,'*',18X,'*/51X,'* DADOS DE ENTRA
IDA */51X,'*',18X,'*/51X,20(1H*))

```

C *****
 C *IMPRESSAO DOS DADOS GERAIS*
 C *****

```

JLL=ANO
WRITE(KW,6003)PRICE,ATV,PERC1,PERC2,TJURO,JLL,RECUR,IV,PROD,IVU,TU
*SU,TUPA
6003 FORMAT(1H1, 52X,16(1H*)/53X,1H*,14X,1H*/53X,** DADOS GERAIS */53
1X,1H*,14X,1H*/53X,16(1H*),6(/),27X,'PRECO DA TONELADA DE OLEO COMB
2USTIVEL EM US$',18(1H.),F12.2//27X,'TAXA DE ATRATIVIDADE EMPREGAD
3A (%)',28(1H.),F12.2//27X,'PERCENTAGEM DO INVESTIMENTO FINANCIADO',
4,24(1H.),F12.2//27X,'VALOR RESIDUAL EXPRESSO EM PERCENTAGEM DO PRE
5CO DO NAVIO.....',F12.2//27X,'TAXA DE JUROS DO FINANCIAMENTO (%)',
6,28(1H.),F12.2//27X,'ANO OPERACIONAL DOS NAVIOS DA FROTA (DIAS)',2
70(1H.),I12//27X,'QUANTIDADE DE RECURSOS PARA INVESTIMENTO EM US$',
815(1H.),F12.2//27X,'PRAZO DO FINANCIAMENTO (ANOS)',33(1H.),I12//27
9X,'PRECO DA TONELADA DE OLEO DIESEL EM US$',23(1H.),F12.2//27X,'VI
1DA UTIL DOS NAVIOS DA FROTA (ANOS)',26(1H.),I12//27X,'TAXA DE UTIL
2IZACAO DE SUEZ (US$/NRT)',26(1H.),F12.2//27X,'TAXA DE UTILIZACAO D
30 PANAMA (US$/NRT)',24(1H.),F12.2)
RECUR=RECUR/1000000.
PERC1=PERC1/100.
PERC2=PERC2/100.
TJURO=TJURO/100.
ATV=ATV/100.
ANO=ANO
C *****
C *CALCULO DOS FATORES DE RECUPERACAO DE CAPITAL DO VALOR FUTURO...*
C *****
IU=IVU-1
Z=ATV*(1.-PERC1-PERC2)/((1.+ATV)**IU-(1.+ATV))
TL=PERC1*(TJURO/(1.-(1.+TJURO)**(-IV)))
TL=TL*(1.-(1.+ATV)**(-IV))/(1.-(1.+ATV)**(-IVU))
FAC=Z+TL
WRITE(KW,6004)
6004 FORMAT(1H1/44X,31(1H*)/44X,1H*,29X,1H*/44X,** DADOS GERAIS SOBRE A
1 MISSAO */44X,1H*,29X,1H*/44X,31(1H*)///4X,'MISSAO',4X,'MERCADOR
2IA',5X,'TERMINAL ORIGEM',6X,'TERMINAL DESTINO',7X,'DISTANCIA (MILH
3AS)',7X,'QTD. CARGA (TON/ANO)'/)
C *****
C *LEITURA DOS DADOS SOBRE AS MISSOES*
C *****
200 READ(KP,1000)MERC,ORIG,DEST,DMIL,D(K)
1000 FORMAT(6A6,2F10.0)
IF(ORIG(1).EQ.BRANCO)GO TO 201
IF(ORIG(1).EQ.CANAL(1).OR.ORIG(1).EQ.CANAL(2))GO TO 6500
IF(DEST(1).EQ.CANAL(1).OR.DEST(1).EQ.CANAL(2))GO TO 6500
IF(MERC(1).EQ.BALST)GO TO 6600
WRITE(KW,6005)K,MERC,ORIG,DEST,DMIL,D(K)
6005 FORMAT(6X,12,5X,2A6,6X,2A6,9X,2A6,14X,F8.2,16X,F8.0)
D(K)=D(K)/1000000.
GO TO 6502
6600 WRITE(KW,6601)MERC,ORIG,DEST,DMIL
6601 FORMAT(13X,2A6,6X,2A6,9X,2A6,14X,F8.2)
GO TO 6502
6500 WRITE(KW,6501)ORIG,DEST,DMIL
6501 FORMAT(13X,6(1H*),12X,2A6,9X,2A6,14X,F8.2)
6502 DO 1 I=1,100
IF(PORTO(I,1).NE.BRANCO)GO TO 1
NN=I
GO TO 500
1 CONTINUE
500 IF(MERC(1).EQ.BALST)GO TO 502
IF(ORIG(1).EQ.CANAL(1).OR.ORIG(1).EQ.CANAL(2))GO TO 502

```

```

IF(DEST(1).EQ.CANAL(1).OR.DEST(1).EQ.CANAL(2))GO TO 502
*****
*LEITURA DOS DADOS SOBRE FRETES*
*****
IF(K.NE.41) GO TO 7082
WRITE(KW,7744)
7744 FORMAT(1X,6(1H*),'PROGRAMA FOI INTERROMPIDO POIS O NUMERO DE MISSO
*ES EXCEDE SUA CAPACIDADE -40 MISSOELS-')
CALL EXIT
7082 READ(KP,7080) I,FSK
IF(I.EQ.0) GO TO 7081
7080 FORMAT(I2,F10.0)
FRSK(I,K)=FSK
GO TO 7082
7081 DO 2 I=1,20
IF(CARGA(I,1).NE.BRANCO)GO TO 2
MM=I
GO TO 501
2 CONTINUE
501 DO 3 I=1,20
IF(CARGA(I,1).NE.MERC(1))GO TO 3
IF(CARGA(I,2).NE.MERC(2))GO TO 3
IC(K)=I
GO TO 502
3 CONTINUE
IF(MM-21)215,210,210
210 WRITE(KW,1001)
1001 FORMAT(1X,6(1H*),' A MISSAO ACIMA NAO FOI INCLUIDA POIS O ARQUIVO
1DE MERCADORIAS ESTA LOTADO. ')
IF(MERC(1).EQ.BALST)GO TO 200
IF(ORIG(1).EQ.CANAL(1).OR.ORIG(1).EQ.CANAL(2))GO TO 200
IF(DEST(1).EQ.CANAL(1).OR.DEST(1).EQ.CANAL(2)) GO TO 200
DO 7083 I=1,7
7083 FRSK(I,K)=0.0
GO TO 200
215 CARGA(MM,1)=MERC(1)
CARGA(MM,2)=MERC(2)
IC(K)=MM
MM=MM+1
502 DO 4 I=1,100
IF(PORTO(I,1).NE.ORIG(1))GO TO 4
IF(PORTO(I,2).NE.ORIG(2))GO TO 4
IA(K)=I
GO TO 503
4 CONTINUE
IF(NH-101)225,220,220
220 WRITE(KW,1002)
1002 FORMAT(1X,6(1H*),' A MISSAO ACIMA NAO FOI INCLUIDA POIS O ARQUIVO
1DE PUPTOS ESTA LOTADO. ')
IF(MERC(1).EQ.BALST) GO TO 200
IF(ORIG(1).EQ.CANAL(1).OR.ORIG(1).EQ.CANAL(2)) GO TO 200
IF(DEST(1).EQ.CANAL(1).OR.DEST(1).EQ.CANAL(2)) GO TO 200
DO 7084 I=1,7
7084 FRSK(I,K)=0.0
GO TO 200
225 PORTO(MM,1)=ORIG(1)
PORTO(MM,2)=ORIG(2)
IA(K)=MM
NH=NH+1
503 DO 5 I=1,100

```

```

IF(PORTO(I,1).NE.DEST(1))GO TO 5
IF(PORTO(I,2).NE.DEST(2))GO TO 5
IB(I)=I
GO TO 504
5 CONTINUE
IF(NN=101)235,230,230
230 WRITE(KW,1002)MERC,ORIG,DEST,D(K)
IF(MERC(1).EQ.BALST) GO TO 200
IF(ORIG(1).EQ.CANAL(1).OR.ORIG(1).EQ.CANAL(2)) GO TO 200
IF(DEST(1).EQ.CANAL(1).OR.DEST(1).EQ.CANAL(2)) GO TO 200
DO 7085 I=1,7
7085 FRSK(I,K)=0.0
GO TO 200
235 PORTO(NN,1)=DEST(1)
PORTO(NN,2)=DEST(2)
IB(K)=NN
NN=NN+1
504 IAK=IA(K)
IBK=IB(K)
DIST(IAK,IBK)=DMIL
DIST(IBK,IAK)=DMIL
IF(MERC(1).EQ.BALST)GO TO 200
IF(ORIG(1).EQ.CANAL(1).OR.ORIG(1).EQ.CANAL(2))GO TO 200
IF(DEST(1).EQ.CANAL(1).OR.DEST(1).EQ.CANAL(2))GO TO 200
K=K+1
GO TO 200
201 LL=0
NK=NK-1
WRITE(KW,6006)
6006 FORMAT(1H1/49X,21(1H*)/49X,1H*,19X,1H*/49X,'* DADOS SOBRE ROTAS *'
1/49X,1H*,19X,1H*/49X,21(1H*))
JJ=0
C *****
C *LEITURA DAS ROTAS*
C *****
202 READ(KW,1003)(ROTAS(I),I=1,10)
1003 FORMAT(10A6)
DO 6 J=1,10,2
IF(ROTAS(J).EQ.BRANCO)GO TO 203
IF(ROTAS(J).NE.START(1))GO TO 505
IF(ROTAS(J+1).EQ.START(2))GO TO 506
505 JJ=JJ+1
IF(JJ=21)511,512,512
512 WRITE(KW,1006)
1006 FORMAT(1X,'PROGRAMA FOI INTERRUPTIDO POIS EXISTE UMA ROTA COM MAIS
* DE 20 PORTOS',//1X,'SUGERE-SE ELIMINAR TAL ROTA')
CALL EXIT
511 DO 7 I=1,100
IF(PORTO(I,1).NE.ROTAS(J))GO TO 7
IF(PORTO(I,2).NE.ROTAS(J+1))GO TO 7
IR(LL,JJ)=I
GO TO (50,51,52,53,54,55,56,50,51,52,53,54,55,56,50,51,52,53,54,55
*)JJ
C *****
C *IMPRESSAO DAS ROTAS*
C *****
50 WRITE(KW,6008)PORTO(I,1),PORTO(I,2)
6008 FORMAT(6X,2A6)
GO TO 6
51 WRITE(KW,6009)PORTO(I,1),PORTO(I,2)

```

```

6009 FORMAT(1H+,23X,2A6)
GO TO 6
52 WRITE(KW,6010)PORTO(I,1),PORTO(I,2)
6010 FORMAT(1H+,40X,2A6)
GO TO 6
53 WRITE(KW,6011)PORTO(I,1),PORTO(I,2)
6011 FORMAT(1H+,57X,2A6)
GO TO 6
54 WRITE(KW,6012)PORTO(I,1),PORTO(I,2)
6012 FORMAT(1H+,74X,2A6)
GO TO 6
55 WRITE(KW,6013)PORTO(I,1),PORTO(I,2)
6013 FORMAT(1H+,91X,2A6)
GO TO 6
56 WRITE(KW,6014)PORTO(I,1),PORTO(I,2)
6014 FORMAT(1H+,108X,2A6)
GO TO 6
7 CONTINUE
WRITE(KW,1004)ROTAS(J),ROTAS(J+1)
1004 FORMAT(1X,'PROGRAMA INTERRUPTO POIS O PORTO ',2A6,' NAO CONSTA D
*O ARQUIVO. A TABELA DE MISSOES NAO ESTA COMPLETA')
CALL EXIT
506 IF(LL=50)507,508,508
508 WRITE(KW,1005)
1005 FORMAT(1X,'PROGRAMA FOI INTERRUPTO POIS O NUMERO DE ROTAS EXCED
*E SUA CAPACIDADE - 50 ROTAS')
CALL EXIT
507 LL=LL+1
WRITE(KW,6007)LL
6007 FORMAT(///27X,'ROTA NUMERO = ',I2//)
JJ=0
6 CONTINUE
GO TO 202
203 IS=1
WRITE(KW,6017)
6017 FORMAT(1H1,/49X,22(1H+)/49X,1H+,20X,1H+/49X,'* DADOS SOBRE NAVIOS
1*/49X,1H+,20X,1H+/49X,22(1H+)/)
C *****
C *LEITURA DOS DADOS SOBRE OS NAVIOS*
C *****
204 READ(KR,1007)TNAV,VS(IS),COMP(IS),BOCA(IS),H(IS),DWTN(IS),CONPO(IS
1),CONVI(IS),PRECO(IS),CUFIX(IS),CUAFR(IS),AS(IS),CS(IS),ES(IS),PS(
2IS),RTSH(IS),HTPA(IS),PER1(IS),PER2(IS),TLI(IS)
1007 FORMAT(2A6,F4.0,BF8.0/,10F8.0)
IF(TNAV(1).EQ.BRANCO)GO TO 205
IF(CS(IS).EQ.1000.) CS(IS)=1.E+60
IF(PS(IS).EQ.1000.) PS(IS)=1.E+60
IF(PER2(IS).EQ.0.0) PER2(IS)=100.
IF(IS.NE. 8) GO TO 246
WRITE(KW,1012)
1012 FORMAT(1X,'PROGRAMA INTERRUPTO POIS FORAM FORNECIDOS MAIS QUE 7
* TIPOS DE NAVIOS',/1X,'OU NAO FOI INCLUIDO O CARTAO EM BRANCO APOS
* O ULTIMO PAR CARGA=DWT')
CALL EXIT
246 DO 8 I=1,4
IF(TSHIP(I,1).NE.TNAV(1))GO TO 8
IF(TSHIP(I,2).NE.TNAV(2))GO TO 8
TIPO(IS)=I
PRECO(IS)=PRECO(IS)+1000000.
CUFIX(IS)=CUFIX(IS)+1000000.

```

```

CUAFR(IS)=CUAFR(IS)*1000000.
IF(TCI(IS)) 704,706,704
706 CH=1.-.10048*VS(IS)/SQRT(COMP(IS))
TCI(IS)=CH*BOCA(IS)*COMP(IS)*.01025
C *****
C *IMPRESSAO DOS DADOS SOBRE OS NAVIOS*
C *****
704 WRITE(KH,6014)IS,TNAV(1),TNAV(2),DNTN(IS),VS(IS),ES(IS),COMP(IS),A
IS(IS),BOCA(IS),PRECO(IS),H(IS),CUFIX(75),TCI(IS),CUAFR(IS),PER1(IS
2),CONVI(IS),PER2(IS),COMP(15),RTPA(IS),S(IS),RTSU(IS),CS(IS)
6018 FORMAT(//51X,'NAVIO NUMERO = ',12//10X,'TIPO DO NAVIO',8(1H.),2A6,
133X,'DEADWEIGHT',16(1H.),F7.0,' T//10X,'VELOCIDADE',14(1H.),F5.2,'
2 NOS',33X,'NAVIOS PROPRIOS EXISTENTES',6(1H.),F3.0/10X,'COMPRIMENT
30',12(1H.),F6.2,' M',33X,'NAVIOS AFRET. EXISTENTES',8(1H.),F3.0/
410X,'BOCA',20(1H.),F5.2,' M',33X,'PRECO',14(1H.),US$ ,F12.2/10
5X,'CALADO',18(1H.),F5.2,' M',33X,'CUSTO FIXO/ANO',5(1H.),US$ ,
6F12.2/10X,'TCI',19(1H.),F6.2,' T/CM',33X,'CUSTO AFRET./ANO',US$ ,
7F13.2/10X,'PERC. MINIMA NAVIOS AFRET.',F6.2,33X,'CONS. COMB. VIA
86M',6(1H.),F5.1,' T/DIA'/10X,'PERC. MAXIMA NAVIOS AFRET.',F6.2,
933X,'CONS. COMB. PORTO',7(1H.),F5.1,' T/DIA'/10X,'TONELAGEM REGIST
1PO PANAMA',F7.0,33X,'NUMERO MAXIMO NAVIOS PROPRIOS',F3.0/10X,'
2TONELAGEM REGISTRU SUEZ',F7.0,33X,'NUMERO MAXIMO NAVIOS AFRET.',
3,5(1H.),F3.0//25X,'MISSAO',23X,'MERCADORIA',25X,'FRETE (US$/T)')
PRECO(IS)=PRECO(IS)/1000000.
PER1(IS)=PER1(IS)/100
PER2(IS)=PER2(IS)/100.
CUAFR(IS)=CUAFR(IS)/1000000.
DNTN(IS)=DNTN(IS)/1000000.
CUFIX(IS)=CUFIX(IS)/1000000.
DO 2000 K=1,NK
2002 IF(FRSK(IS,K)).EQ.0.01GO TO 2000
J=IC(K)
WRITE(KH,2803)K,CARGA(J,1),CARGA(J,2),FRSK(IS,K)
2803 FORMAT(27X,12,25X,2A6,23X,F9.2)
2800 CONTINUE
WRITE(KH,2804)
GO TO 200
2804 FORMAT(//40X,'MERCADORIA',13X,'QDDE. CARGA (T)')
8 CONTINUE
WRITE(KH,1011)TNAV(1),TNAV(2)
1011 FORMAT(2X,'PROGRAMA INTERRUPTO POIS O TIPO DE NAVIO ',2A6,' NAO
*CONSTA DO ARQUIVO.VERIFIQUE POSSIVEL ERRO NA PERFURACAO')
CALL EXIT
206 READ(KR,1008)MERC,DESL
1008 FORMAT(2A6,4F7.0)
IF(MERC(1).EQ.BRANCO)GO TO 207
DO 9 J=1,20
IF(CARGA(J,1).NE.MERC(1))GO TO 9
IF(CARGA(J,2).NE.MERC(2))GO TO 9
WRITE(KH,6019)MERC(1),MERC(2),DESL
6019 FORMAT(39X,2A6,15X,F9.2)
DWT(J,IS)=DESL/1000000.
GO TO 206
9 CONTINUE
GO TO 206
207 IS=IS+1
GO TO 204
205 MM=MM+1
NS=IS-1
DO 22 J=1,MM

```

```

S=0.
DO 23 I=1,NS
23 S=S+DHT(J,I)
IF(S.NE.0.) GO TO 22
WRITE(KW,1013)CARGA(J,1),CARGA(J,2)
1013 FORMAT(1X,'PROGRAMA INTERROMPIDO POIS NENHUM DOS TIPOS DE NAVIO FO
*RNECIDOS TRANSPORTA A MERCADORIA ',2A6)
CALL EXIT
22 CONTINUE
WRITE(KW,6015)
6015 FORMAT(1H1,/47X,25(1H*)/47X,1H*,23X,1H*/47X,'* DADOS SOBRE TERMINA
1IS */47X,1H*,23X,1H*/47X,25(1H*)///11X,'TERMINAL',7X,'CALADO MAX
2IMQ',7X,'TEMPO DE ESPERA',7X,'TAXA DE MANUSEIO',7X,'DESPESA PORTUA
3RIA'/29X,'(METROS)',14X,'(DIAS)',16X,'(T/DIA)',15X,'(US$/T)')
*****
*LEITURA DOS DADOS DOS TERMINAIS*
*****
245 READ(KR,1008)ORIG,CALADO,TIME,TAXA,DESPD
IF(ORIG(1).EQ.'BRANCO')GO TO 208
DO 10 I=1,100
IF(PORTO(I,2).NE.ORIG(2))GO TO 10
IF(PORTO(I,1).NE.ORIG(1))GO TO 10
WRITE(KW,6016)ORIG,CALADO,TIME,TAXA,DESPD
6016 FORMAT(9X,2A6,9X,F5.2,16X,F4.1,17X,F3.1,15X,F6.2)
PROF(I)=CALADO
TEMPO(I)=TIME
TMC(I)=TAXA
DESP(I)=DESPD
GO TO 245
10 CONTINUE
GO TO 245
208 NN=NN-1
K=0
DO 7003 I=1,NN
IF (PROF(I).NE.0.0) GO TO 7003
IF(PORTO(I,1).EQ.CANAL(1))GO TO 6503
IF(PORTO(I,1).EQ.CANAL(2))GO TO 6504
WRITE(KW,7004) PORTO(I,1),PORTO(I,2)
7004 FORMAT(1X,'PROGRAMA SEPA INTERROMPIDO.FALTAM OS DADOS SOBRE O PORT
*O ',2A6)
K=1
GO TO 7003
6503 PROF(I)=PROF1
TEMPO(I)=TIME1
DESP(I)=TUPA
GO TO 7003
6504 PROF(I)=PROF2
TEMPO(I)=TIME2
DESP(I)=TUSU
7003 CONTINUE
IF(K)7005,7005,7006
7006 CALL EXIT
7005 NR=LL
C *****
C *
C *
C *MATEIZ A(I,J) GUARDARA TODOS OS COEFICIENTES DO PROBLEMA
C *LINHA A(IA,J)GUARDARA OS COEFICIENTES DA FUNCAO OBJETIVO PRINCIPA L*
C *COLUNA A(I,JB)GUARDARA O VETOR DE RESTRICAO
C *ELEMENTO A(IA,JB)GUARDARA O VALOR DA FUNCAO OBJETIVO PRINCIPAL

```



```

C *LINHA A(IH+1,J)GUARDARA OS COEFICIENTES DA FUNCAO GBJ. AUXILIAR
C *ELEMENTO A(IH+1,JB)GUARDARA O VALOR DA FUNCAO GBJ. AUXILIAR
C *LINHA A(IH+2,J)GUARDARA OS LIMITES SUPERIORES DAS VARIAVEIS
C *
C * ORDEN DAS EQUACOES:
C * EQUACOES COM SINAL MENOR OU IGUAL
C * EQUACOES COM SINAL DE IGUAL
C * EQUACOES COM SINAL MAIOR OU IGUAL
C *
C * ORDEN DAS VARIAVEIS:
C * VARIAVEIS XRS(R=1,NR,(S=1,NS))
C * VARIAVEIS MPS(S=1,NS)
C * VARIAVEIS HAS(S=1,NS)
C * VARIAVEIS DE EXCESSO
C * VARIAVEIS DE FOLGA
C * VARIAVEIS ARTIFICIAIS
C *****
I=NR*NS+2*NS
IZULT=NR*NS+1
II=IZULT+2*NS
NSL=0
DO 7436 I=1,NS
A(I,IZULT+I)=AND
A(I,IZULT+NS+I)=AND
(C=ES(I)*PER2(I)-(1.-PER2(I))*AS(I)
IF(CC.LT.0.) GO TO 7437
NSL=NSL+1
A(NS+NSL,IZULT+I)=-PER2(I)
A(NS+NSL,IZULT+NS+I)=1.-PER2(I)
7437 CC=ES(I)*PER1(I)-(1.-PER1(I))*AS(I)
IF(CC.GT.0.) GO TO 7436
NSL=NSL+1
A(NS+NSL,IZULT+I)=PER1(I)
A(NS+NSL,IZULT+NS+I)=PER1(I)-1.
7436 CONTINUE
JL=NS+NSL+1
JE=NK
JG=2*NS-NSL
N=JL+JE+JG
JB=IZULT+2*NS+N+JG+1
JB1=JB-1
IW=N+1
JN=IW+1
NN=JN+1
NSL=0
NSG=0
DO 7438 I=1,NS
A(NS+NSL,JB)=ES(I)*PER2(I)-(1.-PER2(I))*AS(I)
IF(CC.LT.0.) GO TO 7440
NSL=NSL+1
A(NS+NSL,JB)=ES(I)*PER2(I)-(1.-PER2(I))*AS(I)
GO TO 727
7440 NSG=NSG+1
A(JL+JE+NSG,IZULT+I)=PER2(I)
A(JL+JE+NSG,IZULT+NS+I)=PER2(I)-1.
A(JL+JE+NSG,JB)=(1.-PER2(I))*AS(I)-ES(I)*PER2(I)
727 CC=ES(I)*PER1(I)-(1.-PER1(I))*AS(I)
IF(CC.GT.0.) GO TO 5500
NSL=NSL+1

```

```

A(NS+NSL,JB)=(1.-PER1(I))*AS(I)-ES(I)*PER1(I)
GO TO 7438
5500 NSG=NSG+1
A(JL+JE+NSG,IZULT+I)=-PER1(I)
A(JL+JE+NSG,IZULT+NS+I)=1.-PER1(I)
A(JL+JE+NSG,JB)=ES(I)*PER1(I)-(1.-PER1(I))*AS(I)
7438 CONTINUE
DO 5501 I=1,NS
5501 A(JL,IZULT+I)=PREC0(I)
A(JL,JB)=RECUR
DO 902 I=1,JE
IE=JL+I
902 A(IE,JB)=D(I)
DO 12 I=1,NR
DO 12 J=1,NK
K=IC(J)
IAI=JL+J
DO 12 L=1,NS
IZ=(I-1)*NS+L+1
A(IAI,IZ)=DWT(K,L)
12 CONTINUE
ICONT=0
DO 13 I=1,NR
NP=1
700 IF(IR(I,NP).EQ.0)GO TO 701
ISA1(NP)=IR(I,NP)
ICHEG(NP)=IR(I,NP+1)
NP=NP+1
GO TO 700
701 NP1=NP-2
DO 14 K=1,NK
IAI=JL+K
NL=IC(K)
DO 15 J=1,NP1
ISJ=ISA1(J)
ICJ=ICHEG(J)
IF(PORTO(ICJ,1).EQ.CANAL(1).OR.PORTO(ICJ,1).EQ.CANAL(2))GO TO 6505
IF(PORTO(ISJ,1).EQ.CANAL(1).OR.PORTO(ISJ,1).EQ.CANAL(2))GO TO 15
IF(IA(K)-ISA1(J))15,702,15
702 IF(IB(K)-ICHEG(J))15,703,15
703 H1=AMIN1(PROF(ISJ),PROF(ICJ))
GO TO 777
6505 IF(IA(K).NE.ISJ.OR.IB(K).NE.ICHEG(J+1))GO TO 15
DO 6509 L=1,NS
IZ=(I-1)*NS+L+1
IF(PORTO(ICJ,1).EQ.CANAL(1))GO TO 6510
IF(BCCA(L).GT.BCC2.OR.COMP(L).GT.COMP2)A(IAI,IZ)=0.
GO TO 6509
6510 IF(BCCA(L).GT.BCC1.OR.COMP(L).GT.COMP1)A(IAI,IZ)=0.
6509 CONTINUE
ICJ1=ICHEG(J+1)
H1=AMIN1(PROF(ISJ),PROF(ICJ),PROF(ICJ1))
GO TO 777
15 CONTINUE
DO 16 L=1,NS
IZ=(I-1)*NS+L+1
16 A(IAI,IZ)=0.
GO TO 14
777 DO 17 L=1,NS
IZ=(I-1)*NS+L+1

```

```

IF(CENT(NL,L))705,17,705
705 HKS(NL,L)=H(L)-(DNT(L)-DNT(NL,L))/TCI(L)*10000.
IF(HKS(NL,L)-H1)17,17,707
707 IF(D-17.75*H(L))708,709,709
708 A(IAI,IZ)=0.
GO TO 17
709 IF(A(IAI,IZ).EQ.0.)GO TO 17
A(IAI,IZ)=A(IAI,IZ)-(HKS(NL,L)-H1)*TCI(L)/10000.
17 CONTINUE
14 CONTINUE
DO 13 L=1,NS
IZ=(I-1)*NS+L+1
CX=0.
TX=0.
TX1=0.
DO 99 J=1,NP1
ISJ=ISAJ(J)
ICJ=ICHEG(J)
TX=TX+DIST(ISJ,ICJ)/VS(L)/24.+TEMP(L,ICJ)
CX=CX+PRICE*CONF(L)+DIST(ISJ,ICJ)/VS(L)/24./1000000.
DO 19 I=1,NK
IAI=JL+K
IF(PORTO(ICJ,1).EQ.CANAL(1).OR.PORTO(ICJ,1).EQ.CANAL(2))GO TO 6507
IF(PORTO(ISJ,1).EQ.CANAL(1).OR.PORTO(ISJ,1).EQ.CANAL(2))GO TO 99
IF(IA(L)-ISJ)19,721,19
721 IF(IA(L)-ICJ)19,722,19
722 IF(TMC(ISJ).EQ.0.)GO TO 723
IF(TMC(ICJ).EQ.0.)GO TO 724
723 PRTE(L,1009)PRTE(ISJ,1),PRTE((ISJ,2),PRTE(ICJ,1),PRTE(ICJ,2)
1009 FORMATA(1),PROGRAMA INTERPRETIL DO FAL FORNECIMENTO DE TAXA DE M
*ANUSEIO LE CARGA DO TERMINAL '2A6' CU DO TERMINAL '2A6)
CALL EXIT
724 TX1=TX1+(A(IAI,IZ)/TMC(ISJ)+A(IAI,IZ)/TMC(ICJ))*1000000.
CX=CX+DESP(ISJ)+A(IAI,IZ)+DESP(ICJ)+A(IAI,IZ)-FRSK(L,K)*A(IAI,IZ)
GKS(I,L)=GKS(I,L)+FRSK(L,K)*A(IAI,IZ)
GO TO 99
6507 IF(PORTO(ICJ,1).EQ.CANAL(1)) X=FTPA(L)
IF(PORTO(ICJ,1).EQ.CANAL(2)) X=FTSU(L)
IF(IA(K).EQ.ISJ.AND.I(K).EQ.ICIEG(J+1)) GO TO 7788
19 CONTINUE
CX=CX+DESP(ICJ)*X/1000000.
GO TO 99
7788 ICJ1=ICHEG(J+1)
IF(TMC(ISJ).EQ.0..OR.TMC(ICJ1).EQ.0.)GO TO 723
TX1=TX1+(A(IAI,IZ)/TMC(ISJ)+A(IAI,IZ)/TMC(ICJ1))*1000000.
CX=CX+DESP(ISJ)+A(IAI,IZ)+DESP(ICJ1)+A(IAI,IZ)+
*DESP(ICJ)*X/1000000.-FRSK(L,K)*A(IAI,IZ)
99 CONTINUE
A(L,IZ)=TX+TX1
IF(A(L,IZ).NE.TX) GO TO 726
ICENT=ICENT+1
NGR(ICENT)=I
NGS(ICENT)=L
726 A(IAI,IZ)=CX+TX1*CONF(L)+PRCD/1000000.
13 CONTINUE
JLL=JL+1
JEL=JE+JL
DO 24 I=JLL,JEL
S=0.
DO 25 J=2,IZULT

```

```

25 S=S+A(I,J)
   IF(S.NE.0.) GO TO 24
   K=I-JL
   IAK=IA(K)
   IBK=IB(K)
   ICK=IC(K)
   WRITE(KW,1014)D(K),CARGA(ICK,1),CARGA(ICK,2),PORTO(IAK,1),PORTO(IA
*K,2),PORTO(IBK,1),PORTO(IBK,2)
1014 FORMAT(1X,'PROGRAMA INTERROMPIDO POIS,FACE AS RESTRIC0ES DO PROBLE
*MA,E IMPOSSIVEL EXECUTAR A MISSAO DE TRANSPORTAR',/1X,F13.2,'TONEL
*ADAS DE ',2A6,' ENTRE OS TERMINAIS DE ',2A6,' E ',2A6)
   CALL EXIT
24 CONTINUE
   DO 18 J=1,NS
   A(IW,IZULT+J)=FAC*PREC0(J)+CUF1(J)
18 A(IW,IZULT+NS+J)=CUF2(J)
   JBF=JB-ICONT
   DO 5502 J=2,JB1
   VL(J)=1.E60
5502 A(NW,J)=1.E60
   DO 5503 J=1,NS
   VL(IZULT+J)=PS(J)-ES(J)
   VL(IZULT+NS+J)=OS(J)-AS(J)
   A(NW,IZULT+J)=PS(J)-ES(J)
5503 A(NW,IZULT+NS+J)=OS(J)-AS(J)
   IF(ICONT) 950,950,951
C *****
C *REDUCAO DO PROBLEMA FACE A X(R,S)=0*
C *****
951 DO 1400 I=1,ICONT
   J=ICONT-I+1
   IZ=(NGR(J)-1)*NS+NGS(J)+1
1402 DO 1401 K=1,NW
1401 A(K,IZ)=A(K,IZ+1)
   IZ=IZ+1
   IF(IZ.LT.I1) GO TO 1402
   DO 4000 K=1,NN
4000 A(K,I1)=0.6
   I1=I1-1
1400 CONTINUE
   N=N-ICONT
   DO 1403 I=1,NW
1403 A(I,JBF)=A(I,JB)
950 JB=JBF
   JB1=JB-1
   K4=I1+1
   DO 9860 J=K4,JB1
9860 A(NW,J)=1.E+60
   K4=N+JB+JL+1
C *****
C *INICIO DA PROGRAMACAO LINEAR:MONTAGEM DO PROBLEMA AUXILIAR*
C *****
   DO 905 I=1,M
   A(I,I1+JG+1)=1.
905 A(I,1)=I+I1-1+JG
   IF(JG.EQ.6) GO TO 903
   IE=JL+JE+1
   DO 909 I=IE,M
   III=1+I1-IE+1
909 A(I,III)=-1.

```

```

908 U=0.
    IW=JW
    IE=I+JG
    III=JL+1
    DO 910 I=2,IE
    CX=0.
    DO 911 I=III,M
911 CX=CX+A(I,J)
    A(JW,J)=-CX
    IF(A(JW,J).GT.0) GO TO 910
    G=A(JW,J)
    CC=J
910 CONTINUE
    CX=0.
    DO 912 J=III,M
912 CX=CX+A(J,JB)
    A(JW,JB)=-CX
907 Z0=C.0
918 KC=CC
931 IF(C.EQ.0.) GO TO 921
C *****
C *ESCOLHA DA VARIÁVEL QUE SAI DA BASE*
C *****
    G=A(NW,KC)
    IF(C(KC).EQ.0.) GO TO 5511
    DO 5512 I=1,M
    L=A(I,1)+1.
    IF(A(I,KC).EQ.0.) GO TO 5512
    IF(A(I,KC).LT.0.) GO TO 5513
    AUX=(A(I,JB)-A(NW,L))/(-A(I,KC))
    IF(AUX.GT.0) GO TO 5512
    G=AUX
    JR=I
    GO TO 5512
5513 AUX=A(I,JB)/(-A(I,KC))
    IF(AUX.GT.0) GO TO 5512
    G=AUX
    JR=I
5512 CONTINUE
    GO TO 5514
5511 DO 5515 I=1,M
    L=A(I,1)+1.
    IF(A(I,KC).EQ.0.) GO TO 5515
    IF(A(I,KC).GT.0.) GO TO 5516
    AUX=(A(I,JB)-A(NW,L))/A(I,KC)
    IF(AUX.GT.0) GO TO 5515
    G=AUX
    JR=I
    GO TO 5515
5516 AUX=A(I,JB)/A(I,KC)
    IF(AUX.GT.0) GO TO 5515
    G=AUX
    JR=I
5515 CONTINUE
5514 IF(C.LT.1.E60) GO TO 924
    WRITE(NW,925)
925 FORMAT(//,5X,'A SOLUCAO E ILIMITADA')
    CALL EXIT
C *****
C *ALTERACAO DOS VALORES DAS VARIÁVEIS BASICAS*

```

C *****

```

924 IF(C(KC).EQ.0) GO TO 5518
TETA=-Q
IF(Q.NE.A(NW,KC)) GO TO 5519
C(KC)=0.
DO 5520 I=1,M
5520 A(I,JB)=A(I,JB)-A(I,KC)*TETA
IF(IW.EQ.M+1)GO TO 5550
A(IW-1,JB)=A(IW-1,JB)-A(IW-1,KC)*TETA
5550 A(IW,JB)=A(IW,JB)-A(IW,KC)*TETA
GO TO 920
5519 L=A(JR,1)
A(JR,1)=KC-1
IF(A(JR,KC).LT.0.) GO TO 5522
C(L+1)=1.
GO TO 5523
5522 C(L+1)=0.
5523 DO 5524 I=1,M
5524 A(I,JB)=A(I,JB)-A(I,KC)*TETA
A(JR,JB)=A(NW,KC)*TETA
IF(IW.EQ.M+1) GO TO 5551
A(IW-1,JB)=A(IW-1,JB)-A(IW-1,KC)*TETA
5551 A(IW,JB)=A(IW,JB)-A(IW,KC)*TETA
C(KC)=0.
GO TO 5521
5518 TETA=0
IF(Q.NE.A(NW,KC)) GO TO 5526
C(KC)=1.
DO 5527 I=1,M
5527 A(I,JB)=A(I,JB)-A(I,KC)*TETA
IF(IW.EQ.M+1) GO TO 5552
A(IW-1,JB)=A(IW-1,JB)-A(IW-1,KC)*TETA
5552 A(IW,JB)=A(IW,JB)-A(IW,KC)*TETA
GO TO 920
5526 L=A(JR,1)
A(JR,1)=KC-1
IF(A(JR,KC).LT.0.) GO TO 5528
C(L+1)=0.
GO TO 5529
5528 C(L+1)=1.
5529 DO 5530 I=1,M
5530 A(I,JB)=A(I,JB)-A(I,KC)*TETA
A(JR,JB)=TETA
IF(IW.EQ.M+1) GO TO 5553
A(IW-1,JB)=A(IW-1,JB)-A(IW-1,KC)*TETA
5553 A(IW,JB)=A(IW,JB)-A(IW,KC)*TETA

```

C *****
C *PIVSTAGEM*
C *****

```

5521 P=A(JR,KC)
DO 926 J=2,JB1
926 A(JR,J)=A(JR,J)/P
DO 927 I=1,IW
IF(I.EQ.JR) GO TO 927
DO 928 J=2,JB1
IF(J.EQ.KC) GO TO 928
A(I,J)=A(I,J)-A(JR,J)*A(I,KC)
IF(ABS(A(I,J)).GT..00001) GO TO 926
A(I,J)=0.
928 CONTINUE

```

```

927 CONTINUE
DO 929 I=1,IW
929 A(I,KC)=G1
A(JP,KC)=1.
IF(ZO.NE.0.)GO TO 935
C *****
C *ESCOLHA DA VARIAVEL QUE ENTRA NA BASE*
C *****
920 Q=0.
DO 930 J=2,K4
IF(C(J).EQ.0.) GO TO 5509
AUX=-A(IW,J)
GO TO 5509
5508 AUX=A(IW,J)
5509 IF(AUX.GE.0) GO TO 930
Q=AUX
KC=J
930 CONTINUE
GO TO 931
921 IF(IW.EQ.M+1) GO TO 932
IW=IW-1
C *****
C *TESTE DE FIM DA FASE 1*
C *****
IF(ABS(A(IW+1,JB)).LT.000001)GO TO 933
WRITE (KW,934)
934 FORMAT('1',20('/),40X,25('*')/40X,'*',23X,'*/40X,'* NAO HA SOLUCAO
1 VIAVEL */40X,'*',23X,'*/40X,25('*')///38X,'CAUSAS PARA A INVIA
2BILIDADE:*/35X,'1) NAO HA RECURSOS SUFICIENTES'/35X,'2) NUMERO DE
3 NAVIOS INSUFICIENTE'/35X,'3) FAIXAS PARA PARTICIPACAO NAVIOS'/38X
4,'AFRETADOS INCOMPATIVEL COM LIMITES'/38X,'IMPOSTOS PARA NUMERO DE
5 NAVIOS'/35X,'4) NAO HA UMA ROTA EXCLUSIVA PARA'/38X,'CADA MISSAO'
6)
CALL EXIT
933 AUX1=N+JG+JL
NAUX=AUX1+1.
DO 935 IO=1,M
IF(A(IO,1).LE.AUX1)GO TO 935
DO 936 JO=2,NAUX
IF(A(IO,JO).NE.0.0)GO TO 240
936 CONTINUE
DO 952 JO=1,JB
952 A(IO,JO)=0.0
935 CONTINUE
ZO=0.0
GO TO 920
240 IW=JH
JR=IO
ZO=IO
KC=JO
L=A(JR,1)
A(JR,1)=KC-1
IF(C(KC).EQ.0.) GO TO 5560
A(JR,JB)=A(NW,KC)
GO TO 5561
5560 A(JR,JB)=0.
5561 C(L+1)=0.
GO TO 5521
932 DO 7010 I=1,ICONT
XIZ=(NGR(I)-1)+NS+NGS(I)

```

```

DD 7011 J=1,M
IF(A(J,1).EQ.0.0) GO TO 7011
IF(A(J,1).LT.XIZ) GO TO 7011
A(J,1)=A(J,1)+1.
7011 CONTINUE
NAUX=XIZ+2.
JB1=JB1+1
DO 5580 L=NAUX,JB1
J=JB1+NAUX-L
5580 C(J)=C(J-1)
C(NAUX-1)=0.
7010 CONTINUE
C *****
C *IMPRESSAO DA SOLUCAO OTIMA*
C *****
WRITE(KW,7020)
7020 FORMAT('1',27(/),43X,33(' '),43X,1H*,31X,1H*/43X,'* SOLUCAO OTIMA
*PARA O PROBLEMA *'/43X,1H*,31X,1H*/43X,33(1H*))
TX=0.0
WRITE (KW,7037)
7037 FORMAT('1')
DO 8999 J=1,NS
8999 DWTN(J)=DWTN(J)+1000000.
HH=0.0
DO 7321 I=1,NR
WRITE(KW,6007)I
DO 7122 I1=1,20
IF(IR(I,I1).EQ.0)GO TO 7121
DO 7123 I2=1,100
IF(I2.NE.IR(I,I1))GO TO 7123
GO TO (60,61,62,63,64,65,66,60,61,62,63,64,65
*) ,I1
60 WRITE(KW,6008)PORTO(I2,1),PORTO(I2,2)
GO TO 7122
61 WRITE(KW,6009)PORTO(I2,1),PORTO(I2,2)
GO TO 7122
62 WRITE(KW,6010)PORTO(I2,1),PORTO(I2,2)
GO TO 7122
63 WRITE(KW,6011)PORTO(I2,1),PORTO(I2,2)
GO TO 7122
64 WRITE(KW,6012)PORTO(I2,1),PORTO(I2,2)
GO TO 7122
65 WRITE(KW,6013)PORTO(I2,1),PORTO(I2,2)
GO TO 7122
66 WRITE(KW,6014)PORTO(I2,1),PORTO(I2,2)
GO TO 7122
7123 CONTINUE
7122 CONTINUE
7121 WRITE(KW,7499)
7499 FORMAT(/)
I2=0
DO 7021 J=1,NS
DO 7125 I3=1,4
IF(TIPO(J).NE.I3)GO TO 7125
GO TO 7124
7125 CONTINUE
7124 XIZ=(I-1)*NS+J
DO 7022 K=1,M
IF(A(K,1).EQ.0.0) GO TO 7022
IF(A(K,1).EQ.XIZ) GO TO 7023

```



```

7022 CONTINUE
    NAUX=XIZ+1.
    IF(C(NAUX).EQ.0.) GO TO 7021
    Z=VL(NAUX)
    GO TO 7024
7023 Z=A(K+JB)
7024 WRITE(KW,7025)J,TSHIP(13,1),TSHIP(13,2),DNTN(J),Z
7025 FORMAT(' ',28X,'NUMERO DE VIAGENS/ANO DOS NAVIOS DO TIPO ',I2,' (
    ',2A6,' - ',F7.0,' T) = ',F6.1)
    I2=I2+1
    HH=HH+Z*OKS(I+J)
7021 CONTINUE
    IF(I2.EQ.0)WRITE(KW,6117)
6117 FORMAT(29X,'***** NAO DEVERAO SER EFETUADAS VIAGENS NESTA ROTA.')
```

```

I2=0
7321 CONTINUE
    WRITE(KW,1916)
    HH=HH+1000000.
    WRITE(KW,7030)
7030 FORMAT(/,A50X,5(' '))
    WRITE(KW,1875) LAMB
1875 FORMAT(/,A49X,'FROTA OTIMA PARA ',I4/A2X,21(' ')/)
    S=0.0
    AUX=0.0
    DO 7026 I=1,NS
    DO 1880 I3=1,4
    IF(TIPO(I).NE.I3) GO TO 1880
    GO TO 1881
1880 CONTINUE
1881 XIZ=NS+NS+I
    DO 7027 J=1,M
    IF(A(J,1).EQ.0.0) GO TO 7027
    IF(A(J,1).NE.XIZ) GO TO 7027
    Z=A(J,JB)+ES(I)
    GO TO 7028
7027 CONTINUE
    NAUX=XIZ+1.
    IF(C(NAUX).EQ.0.) GO TO 5582
    Z=VL(NAUX)+ES(I)
    GO TO 7028
5582 Z=ES(I)
7028 WRITE(KW,7029)I,TSHIP(13,1),TSHIP(13,2),DNTN(I),Z
7029 FORMAT(' ',25X,'NUMERO DE NAVIOS PROPRIOS DO TIPO ',I3,' ( ',2A6,'
    I= ',F7.0,' T) = ',F7.2)
    S=S+Z*(COFIX(I)+PNECO(I)+FAC)
    AUX=AUX+ES(I)*(COFIX(I)+PNECO(I)+FAC)
7026 CONTINUE
    WRITE(KW,7499)
    DO 5583 I=1,NS
    DO 1877 I3=1,4
    IF(TIPO(I).NE.I3) GO TO 1877
    GO TO 1878
1877 CONTINUE
1878 XIZ=NS*NS+NS+I
    DO 5584 J=1,M
    IF(A(J,1).EQ.0.) GO TO 5584
    IF(A(J,1).NE.XIZ) GO TO 5584
    Z=A(J,JB)+NS(I)
    GO TO 5585
5584 CONTINUE
```

```

    NAUX=XI2+1.
    IF((NAUX).EQ.0.) GO TO 5586
    Z=VL(NAUX)+AS(I)
    GO TO 5585
5586 Z=AS(I)
5585 WRITE(KW,5587)I,TSHIP(I3,1),TSHIP(I3,2),DWTN(I),Z
5587 FORMAT(' ',25X,'NUMERO DE NAVIOS AFRETADOS DO TIPO',I3,' ('',2A6,'
1= ',F7.0,' T) =',F7.2)
    S=S+CUAFR(I)*Z
    AUX=AUX+CUAFR(I)*AS(I)
5583 CONTINUE
    WRITE(KW,7030)
    WRITE(KW,1876)
1876 FORMAT(///53X,'FRUTA ATUAL',/53X,11('*'))
    DO 7031 I=1,NS
    DO 1891 I3=1,4
    IF(TIPO(I).NE.I3) GO TO 1891
    GO TO 7031
1891 CONTINUE
7031 WRITE(KW,7029)I,TSHIP(I3,1),TSHIP(I3,2),DWTN(I),ES(I)
    WRITE(KW,7499)
    DO 7033 I=1,NS
    DO 1893 I3=1,4
    IF(TIPO(I).NE.I3) GO TO 1893
    GO TO 7033
1893 CONTINUE
7033 WRITE(KW,5587)I,TSHIP(I3,1),TSHIP(I3,2),DWTN(I),AS(I)
    A(IW,JB)=1000000.*(A(IW,JB)-AUX)
    WRITE(KW,7037)
    AUX=0.
    DO 1850 I=1,NS
    DO 1850 J=1,NK
1850 AUX=AUX+FRSK(I,J)
    IF(AUX.EQ.0.) GO TO 1851
    WRITE(KW,8001) A(IW,JB)
8001 FORMAT(15(/),38X,47('*'))/38X,'*',45X,'*' /38X,'* LUCRO BRUTO/ANO ES
1PERADD = US$',F13.2,' '*/38X,'*',45X,'*' /38X,47('*'))
    GO TO 1852
1851 A(IW,JB)=-A(IW,JB)
    WRITE(KW,1853) A(IW,JB)
1853 FORMAT(15(/),38X,46('*'))/38X,'*',44X,'*' /38X,'* CUSTO TOTAL/ANO ES
1PERADD = US$',F12.2,' '*/38X,'*',44X,'*' /38X,46('*'))
1852 S=S+1000000.
    WRITE(KW,8004) S
8004 FORMAT(///38X,46(1H*)/38X,1H*,44X,1H*/38X,'* CUSTO FIXO/ANO ESPER
*ADD = US$',F12.2,' '*/38X,1H*,44X,1H*/38X,46(1H*))
    IF(AUX.EQ.0.) GO TO 1868
    WRITE(KW,7035)HH
7035 FORMAT(///37X,48(1H*)/37X,1H*,46X,1H*/37X,'* RECEITA TOTAL/ANO ESP
*ERADA = US$',F12.2,' '*/37X,1H*,46X,1H*/37X,48(1H*))
    Z=HH*A(IW,JB)
    WRITE(KW,7036)Z
7036 FORMAT(///38X,46(1H*)/38X,1H*,44X,1H*/38X,'* CUSTO TOTAL/ANO ESPER
*ADD = US$',F12.2,' '*/38X,1H*,44X,1H*/38X,46(1H*))
    GO TO 1854
1868 Z=A(IW,JB)*S
    WRITE(KW,1855) Z
1855 FORMAT(///37X,49('*'))/37X,'*',47X,'*' /37X,'* CUSTO VARIAVEL/ANO E
1SPERADD = US$',F12.2,' '*/37X,'*',47X,'*' /37X,49('*'))
1854 WRITE(KW,1915)

```

```

1915 FORMAT(1H1,26(/),39X,39('**')/39X,'**',37X,'**'/39X,'* SENSIBILIDADE
1DA SOLUCAO ENCONTRADA */39X,'**',37X,'**'/39X,39('**'))
WRITE(KW,1910)
1916 FORMAT(1H1)
IE=JG+II+JL
IF(AUX.EQ.0.) GO TO 1860
WRITE(KW,1922) LUCRO,LUCRO
1922 FORMAT(' ',3(/),20X,'MISSAG TAXA VARIACAO DO ',A6,7X, 'FAIXA
1 DE VALIDADE DA TAXA VARIACAO ',A6 /19X,'(NUMERO) (US$/T TRAN
2SPORTADA) LIMITE INFERIOR(T) LIMITE SUPERIOR(T)')
GO TO 1861
1860 WRITE(KW,1922) CUSTO,CUSTO
DO 1865 I=1,JE
L=IE+I
1865 A(IW,L)=-A(IW,L)
C *****
C *VERIFICACAO DA SENSIBILIDADE DA SOLUCAO*
C *****
1861 DO 1901 I=1,JE
L=IE+I
DBRP=1.E60
DO 1904 LL=1,M
NAUX=A(LL,1)+1.
IF(A(LL,L)) 5600,1904,5601
5600 Q=A(LL,JB)/ABS(A(LL,L))
GO TO 5602
5601 Q=(VL(NAUX)-A(LL,JB))/A(LL,L)
5602 IF(Q.GE.DBRR) GO TO 1904
DBRR=Q
1904 CONTINUE
DBRN=1.E60
DO 1905 LL=1,M
NAUX=A(LL,1)+1.
IF(A(LL,L)) 5604,1905,5605
5604 Q=(VL(NAUX)-A(LL,JB))/ABS(A(LL,L))
GO TO 5606
5605 Q=A(LL,JB)/A(LL,L)
5606 IF(Q.GE.DBRR) GO TO 1905
DBRN=Q
1905 CONTINUE
DBRP=1000000.*(D(I)+DBRR)
DBRN=1000000.*(D(I)-DBRN)
WRITE(KW,1906) I,A(IW,L),DBRN,DBRP
1906 FORMAT(' ',19X,I4,12X,F7.2,21X,F8.0,17X,F8.0)
1901 CONTINUE
CALL EXIT
END

```

5. RECOMENDAÇÕES

Várias recomendações poderiam ser feitas com vistas a melhorar o programa de computador e o modelo matemático desenvolvido neste trabalho. A maioria delas estaria relacionada com uma maior aproximação do modelo com a prática, com o dia a dia de uma empresa de navegação. Dentre estas foram identificadas as seguintes:

- i) Considerar diferentes taxas de utilização dos canais quando o navio fizer a travessia carregado ou em lastro;
- ii) permitir uma melhor aproximação para as chamadas "desovas" (cargas ou descargas parciais) do que aquela sugerida em 4.3;
- iii) levar em conta vantagens que podem ser tiradas do fato de que os preços dos óleos, diesel e combustível, variam pelos vários portos visitados; o programa poderia definir os pontos ideais de reabastecimento;
- iv) incorporar ao programa meios de se estimar o frete dos navios nas várias missões. No 3º Congresso Pan Americano de Engenharia Naval, em julho de 1973, o professor Antonio Galvão Novaes apresentou o trabalho "Perspectives for Grain Exports through South Atlantic Ports", - onde o autor apresenta duas relações entre o frete em US\$/ton e a distância em milhas e o porte do navio em toneladas, para grãos leves e carvão. Estas relações foram obtidas por regressão de dados publicados em revistas especializadas.

Quanto ao aspecto do método de solução adotado - uma maior eficiência seria conseguida se ao invés do simplex original fosse utilizado o simplex revisado. Chega-se a esta conclusão através de uma análise dos zeros existentes na matriz A dos

coeficientes a_{ij} das equações de restrições. Embora não seja possível precisar a incidência de zeros nesta matriz (varia de problema a problema) é de se esperar que sejam observadas as seguintes relações:

Número de variáveis ≈ 6

Número de equações

percentagem de não zeros na matriz $A \approx 10\%$

De acordo com a figura 9-1-I da página 217 da referência (1) o simplex com multiplicadores, para os valores acima, é mais eficiente que o simplex original, razão pela qual seria recomendável sua substituição futura no programa.

REFERÊNCIAS

1. "Linear Programming and Extensions", Dantzig; Princeton University - 1963.
2. Programação Linear, Girão e Ellenrieder, Editora Almeida Neves, 1971.
3. "Branch and bounds methods: a survey" Lawler e Wood; Operations Research, Jul-Ag - 1966.
4. "Optimization of a fleet of large tankers and bulkers: a linear programming approach" Everett e outros; SNAME-Marine Technology - Out/1972.
5. "Linear Programming", S Gass; McGraw-Hill - 1958.
6. "Mathematical Programming"; S.Vajda; Addison Wesley, 1961.

RAMIFICAÇÕES REQUERIDAS PELO EXEMPLO DE PROCESSAMENTO DO ITEM 4,5

Foi utilizada a seguinte codificação:

- x_1 = número de navios próprios do tipo 1
 x_2 = número de navios próprios do tipo 2
 x_3 = número de navios próprios do tipo 3
 x_4 = número de navios próprios do tipo 4
 x_5 = número de navios afretados do tipo 1
 x_6 = número de navios afretados do tipo 2
 x_7 = número de navios afretados do tipo 3
 x_8 = número de navios afretados do tipo 4
LUCRO = lucro/ano em dólares
 a = parte inteira do resultado de x_i
 N = número de ordem de cálculo do ramo

= soluções inteiras

