

A LOGÍSTICA DO CONTÊINER VAZIO – UMA NOVA ABORDAGEM

LOGÍSTICA DO CONTÊINER VAZIO, UMA NOVA ABORDAGEM.

Professora Ms. Líria Baptista de Rezende, liria@usp.br
Universidade Presbiteriana Mackenzie
Av. Presidente Altino, 386 apto 11
Jaguará, São Paulo – SP cep 05323-000
Tel (11) 3763-5115
Cel (11) 8361-6111

Professor Dr. Marco Antonio Brinati, mabrinat@usp.br
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento Engenharia Naval e Oceânica
Fone: (0xx11) 3091-5540 R. 258

RESUMO

O problema de contêineres vazios é comum nas empresas de transporte e está relacionados com o desequilíbrio entre o fluxo de mercadorias containerizadas num sentido e no outro do comércio entre duas regiões e o seu equacionamento constitui uma tarefa relevante tendo em vista os custos direta ou indiretamente envolvidos.

Este trabalho examina a logística do contêiner vazio, de acordo com a ótica de uma companhia de navegação, que se defronta com o desbalanceamento entre a demanda e a oferta de contêineres vazios para atender seus contratos de exportação ao longo dos portos da rota. Quando a demanda de um tipo específico de contêineres, num dado porto, é maior do que a oferta, a empresa pode prover contêineres adicionais por meio da transferência de contêineres vazios do mesmo tipo, via marítima ou terrestre, a partir de portos em que a oferta é maior que a demanda, ou por meio de aluguel (*leasing*) de novos contêineres.

O objetivo do trabalho é elaborar um modelo de planejamento logístico para auxiliar a empresa de navegação a tomar decisões referentes ao reposicionamento e *leasing* de contêineres vazios, as ofertas de contêineres vazios, de cada tipo, nos portos da rota, bem como o espaço disponível nos navios da frota para o transporte de contêineres vazios, são restrições do modelo enquanto que o custo envolvido com o reposicionamento dos contêineres vazios e o *leasing* de novos contêineres é a função objetivo do modelo.

O presente estudo dá continuidade ao trabalho de Barco, B.L. (A logística do contêiner vazio. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de mestre. São Paulo, 106 p, Mar. 1998), explorando as sugestões por ele apresentadas para aperfeiçoamento do modelo original.

O modelo matemático desenvolvido foi implementado computacionalmente por meio do pacote computacional GAMS – General Algebraic Modeling System. Ele foi aplicado ao estudo do reposicionamento dos contêineres vazios de uma empresa de navegação, utilizando os dados de 2 cenários diferentes; o primeiro é o mesmo empregado no estudo anterior de Barco, o outro é mais recente, corresponde ao segundo semestre de 2002. A análise dos resultados de uma série de testes computacionais, com a alteração dos principais parâmetros mostrou a consistência do modelo; alguns desses resultados são mostrados no presente trabalho.

Introdução e Objetivos

A adoção do contêiner como acondicionador de cargas teve maior significado a partir de 1956, quando começou a ser utilizado em navios mistos na costa oeste dos E.U.A. Naquela época já foram percebidas as vantagens da utilização do contêiner, tais como a rapidez de carga e descarga do navio e a facilidade da transferência de um modal de transporte para outro (BARCO, 1998).

Com o tempo, os transportadores descobriram outras vantagens: proteção da carga transportada contra roubos, perdas e avarias, diminuindo assim o preço do seguro, simplificação das embalagens, melhor aproveitamento dos espaços dos navios e redução dos fretes devido ao aumento do tamanho médio dos navios e da propulsão, melhora da produtividade das operações portuárias e conseqüente aumento da rotatividade dos navios pela redução de tempo no porto.

O tamanho dos contêineres não era padronizado. Existiam várias dimensões, como o CONEX (*Container Express Service*) com 8'x 6'x 6' criado pelo exército americano para fins de logística militar; os contêineres de 24'x 8'x 8' utilizados e idealizados pela Matson para o transporte por contêineres para o Hawái e os de 35'x 8'x 8' utilizados pela companhia de navegação Sealand Inc (SOUZA, 1998).

Para facilitar o manuseio e acomodação nos navios, as dimensões dos contêineres foram padronizadas pela ISO (International Standard Organization) em 1968.

Os comprimentos padronizados são os de 10, 20, 30 e 40 pés. Os mais utilizados são os de 20 e 40 pés.

O volume relativo de carga geral transportado em contêineres vem crescendo aceleradamente, saltando de 27% em 1990 para mais de 41% em 1996 e para 46% previstos para 1999 (VELASCO, 1998). Como o contêiner é uma embalagem dispendiosa e não descartável deve ser considerado o seu remanejamento para sucessivas reutilizações, do que decorre a necessidade de um controle de estoque. Assim, pode-se prever o desbalanceamento da distribuição dos contêineres vazios, possibilitando seu envio de um porto de oferta para outro de demanda.

O problema dos contêineres vazios é comum nas empresas de transportes e está relacionado ao desequilíbrio (*imbalance*) entre as quantidades de contêiner que entraram e que saíram, constituindo uma tarefa relevante devido aos custos envolvidos, direta ou indiretamente, como espaço, armazenamento, aluguel, etc. Sampaio (2001) classifica o problema de gerenciamento de contêineres vazios (PGCV) como um problema típico de logística reversa, associado à movimentação e à falta de interação entre a distribuição e o transporte dos contêineres cheios e a distribuição e o transporte dessas unidades, quando vazias para serem reutilizadas.

Como os contêineres estão vazios, todo esse processo de reposicionamento representa custos, sem receitas adicionais da operação. Com isso, a movimentação deve ser efetuada de modo a minimizar custos.

A solução é enviar contêiner de um ponto onde há excesso de oferta de contêineres vazios para outro onde há excesso de demanda de contêineres vazios. Isto pode ser conseguido sabendo-se quando e onde haverá a oferta e a demanda de contêineres vazios. No caso de uma empresa de navegação, as informações podem ser obtidas por meio dos itinerários dos navios (*schedules*) e previsões de pedidos de transporte fornecidas pela área comercial.

O objetivo da pesquisa é elaborar um modelo de planejamento logístico para auxiliar a empresa de navegação a tomar decisões referentes ao reposicionamento e *leasing* de contêineres vazios; os excessos de oferta ou de demanda de contêineres vazios, de cada tipo, nos portos da rota, bem como o espaço disponível nos navios para transporte de contêineres

vazios, serão restrições do modelo enquanto que o custo envolvido com reposicionamento, *leasing* e estocagem de contêineres vazios será a função objetivo do modelo.

O ponto de partida para o modelo aqui desenvolvido é o trabalho de Barco (1998). As mudanças neste realizadas visam tornar o modelo mais representativo das condições reais que condicionam a logística do contêiner vazio. As principais alterações foram o tratamento de navios com dupla passagem pelos portos e a mudança na restrição de capacidade dos navios para o transporte de contêiner vazio que passou dos 10% fixos para a quantidade real observada em cada trecho. Outra alteração, também relevante, diz respeito à introdução de um prazo de antecedência para a chegada de um contêiner vazio a um porto tendo em vista o seu embarque carregado num navio. Cada uma destas alterações será explicada com detalhes no decorrer do trabalho.

Panorama e entraves

Com o aumento das frotas de contêineres devido ao rápido crescimento da containerização (método para se transportar mercadorias em contêineres), torna-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias, tanto para a movimentação e armazenagem quanto para um controle dos fluxos de carga.

Normalmente, as quantidades de cargas exportadas e importadas não estão em equilíbrio nos portos, ou seja, pode faltar contêiner de um dado tipo em um porto e sobrar em outro.

A logística busca responder as questões:

- Como suprir a demanda de contêineres vazios nos portos?
- Quando iniciar o transporte?
- Qual o porto de origem e o de destino?
- Como fazê-lo: de navio, caminhão ou *leasing*?

Questões típicas da logística são relevantes, tais como programação, fechamento de carga, data de partida do navio, rotas, seleção do tipo de modal/ transportador, contrato de frete, gerenciamento privado da frota; nível de estoques de contêineres vazios nos portos e depósitos; disponibilidade destes contêineres, (pois o equipamento pode estar avariado em reforma ou em alguma outra condição que impeça sua utilização imediata), previsão da demanda e oferta de vazios ao longo do período planejado e a grande quantidade de elementos que fazem parte do gerenciamento de tráfego e transporte. (CRAINIC; GENDREAU; DEJAX, 1993) e (KOPICK et al., 1993)

Conhecendo as informações descritas, definem-se os portos de origem, oferta, e portos de destino, demanda, onde os contêineres vazios serão reposicionados por navio, caminhão ou ainda poderão ser alugados, visando sempre o menor custo.

Os contêineres vazios só poderão ocupar o navio se houver espaço vago (*slots*), ou seja, um CV nunca poderá ocupar o espaço de um outro contêiner com carga.

O sistema apresenta alguns imprevistos difíceis de quantificar, tais como:

- A previsão da área comercial exagerada;
- O cancelamento de carga;
- Quebra de guindastes de movimentação de contêineres (*portainer*);
- Greve de trabalhadores dos portos ou de empresas que prestam serviços para os portos;
- Avaria do próprio equipamento e tempo de reparo;
- Demora na devolução dos contêineres vindos de importação;
- Fiscalização das autoridades;
- Mudança do *schedule* dos navios. (CRAINIC; GENDREAU; DEJAX, 1993)

Essas incertezas podem ser contornadas ao se utilizar um estoque de segurança sendo que isto elevará o custo de estocagem do contêiner, porém evitará a perda de frete.

Lai; Lam; Cham (1995) classificam os contêineres em três tipos de acordo com a aquisição:

- Próprio; quando não utilizado, é armazenado nos depósitos do armador ou de terceiros. Os depósitos de terceiros cobram uma taxa diária de armazenagem
- *Leasing* em curto prazo, inferior a três anos; quando não utilizado, é devolvido para a companhia de leasing em operação denominada *drop-off*. A devolução é sujeita a um limite máximo mensal que varia de porto para porto. Uma outra opção é o armazenamento em depósitos para uso posterior.
- *Leasing* em longo prazo, mais de três anos; o tratamento é semelhante ao do contêiner próprio, uma vez que não são permitidas devoluções dentro de um prazo que, dependendo do contrato, varia normalmente de três a cinco anos.

Os valores do *leasing* e do *per diem*, aluguel cobrado por dia pelas empresas locadoras de contêineres, são negociados com as agências; não existe um valor fixo, depende da quantidade de contêiner e do tempo estipulado, quanto maior o prazo pretendido e a quantidade de contêineres, menor serão os preços.

A tarifa de movimentação portuária também não tem um valor fixo, é feito um acordo junto ao porto para lotes de contêineres movimentados.

Em virtude de os portos terem uma demanda sazonal o estoque mínimo mantido de contêineres vazios é calculado segundo séries históricas.

O sistema de contêineres de uma empresa marítima é composto de dois tipos principais de movimentos, que devem ser controlados, descritos a seguir:

1. Movimentos comerciais – contêineres carregados ou cheios, diretamente geradores de lucro e de contêineres vazios e que correspondem a operações comerciais da empresa, importação e exportação. A princípio, todo movimento comercial de contêineres cheios gera, quase que automaticamente, um movimento vazio.
2. Os movimentos técnicos – reequilíbrio de unidades vazias entre os depósitos, movimentos de contêineres alugados ou avariados etc... (SAMPAIO, 2001).

Comentários

A metodologia de resolução por meio de modelagem matemática linear proposta no presente trabalho baseia-se na dissertação de Barco (1998), que é específico para o problema do contêiner vazio e tem como objetivo a minimização dos custos. O modelo proposto difere do modelo Particular de Barco (1998) na questão do tratamento da capacidade do navio, nos navios com dupla passagem pelos portos e no estabelecimento de estoque mínimo nos portos, que Barco (1998) garante colocando a quantidade de contêineres vazios necessários para o estoque mínimo como demanda em um navio fictício. Outra implementação no modelo proposto é a inserção de uma janela de tempo entre a chegada do contêiner vazio nos portos e sua utilização o que torna o modelo mais adequado à realidade. O tratamento da restrição de capacidade do navio foi inspirado no trabalho de Ono (2001)

O problema do reposicionamento do contêiner vazio

Considere uma empresa de navegação cuja frota de navios porta contêineres opere, por exemplo, numa rota Europa (América do Norte) – América do Sul (Costa Leste), com *schedules* definidos.

A situação mais provável é que, num dado porto da rota, exista desbalanceamento entre a quantidade de contêineres cheios, de um dado tipo e tamanho, que os navios trazem ao porto, daqui para frente chamados de contêineres de importação, e a quantidade de contêineres cheios, do mesmo tipo e tamanho, que os navios retiram do porto, doravante denominados contêineres de exportação.

Dado este desbalanceamento, para que não sobrem contêineres num dado porto, mais precisamente no terminal de contêineres da empresa na região de influência do porto, e não falem contêineres vazios para atender a demanda de exportação em outro porto, a empresa procura reposicionar os contêineres vazios.

O reposicionamento dos contêineres vazios pode ser realizado por meio dos próprios navios da frota, utilizando espaço ocioso nos navios, ou por meio de caminhões. Outra alternativa a ser considerada é o aluguel de contêineres vazios para atender a demanda da exportação. Convém observar que a própria viabilidade do aluguel de contêineres está condicionada à existência da oferta de contêineres vazios na região. (No caso em que haja um desbalanceamento generalizado no transporte marítimo entre a exportação e importação de um dado tipo de contêiner, num porto, e que não haja desbalanceamento em sentido contrário no transporte terrestre destes contêineres, é pouco provável que haja oferta de contêineres vazios deste tipo de contêiner.)

Sem o reposicionamento ou o aluguel de contêineres vazios, a oferta de um tipo k num porto i , num dia t , associado ao carregamento de um navio n , depende:

- do estoque de contêineres vazios após a saída do navio anterior;
- da quantidade de contêineres vazios que retornaram vazios dos clientes de importação após a passagem do último navio;
- da quantidade de contêineres que vieram do reparo após o último navio.

Por sua vez, a demanda de contêineres vazios do tipo k , no porto i , no dia t em que passa o navio n é igual à demanda de exportação de contêineres cheios do tipo k , no navio n , a partir do porto i .

O problema do reposicionamento dos contêineres vazios pode, então, ser definido. Dado um horizonte de planejamento, com os correspondentes *schedules* dos navios, e conhecidas as ofertas e demandas de contêineres vazios, de cada tipo, em cada porto da rota, pretende-se determinar a configuração, envolvendo o transporte marítimo (utilizando os navios da frota) e transporte terrestre, para reposicionamento dos contêineres vazios da empresa, e o aluguel de contêineres novos, que minimize o custo da empresa.

O modelo matemático

Índices e conjuntos

Como base para a elaboração do modelo, definem-se os seguintes índices e conjuntos a serem utilizados nas variáveis e parâmetros:

- n : para indicar os navios pertencentes à companhia que participam do processo e N o conjunto de navios no horizonte de planejamento;
- i, j, l : para indicar portos e I o conjunto de portos no horizonte de planejamento;
- k : para indicar o tipo de contêiner e K o conjunto de tipos de contêineres;
- t : para indicar a unidade de tempo (nos exemplos apresentados, a unidade é medida em dias) e T o conjunto dos dias.

Parâmetros

Os parâmetros do modelo são:

- $C1_{i,k,j}$: é o custo unitário de movimentação de contêineres vazios, do tipo k do porto i para o porto j por meio de navios;
- $C2_{i,k,j}$: é o custo unitário de movimentação de contêineres vazios, do tipo k do porto i para o porto j por meio rodoviário;
- $C3_{i,k}$: custo unitário de *leasing* para contêineres vazios, do tipo k no porto i .
- $C4_{i,k}$: é o custo unitário de estocagem, por uma unidade de tempo para contêineres vazios do tipo k no porto i .
- $TEMP_{t,n,i}$: é o intervalo de tempo entre a passagem do navio n , que passa na data t no porto i , e o navio antecessor a este. Caso não exista um antecessor a este navio, este tempo é calculado a partir do primeiro dia do período de análise.
- $SUC_{i,n,t}$: é o conjunto de portos sucessores ao porto i na passagem do navio n na data de índice t .
- $EST_{t,n,i,k}$: é o estoque de contêineres vazios do tipo k , na data t , no porto i , na passagem do navio n .

Variáveis de decisão

Para elaborar o modelo matemático correspondente ao problema enunciado, o primeiro passo é identificar corretamente as variáveis de decisão do problema. A primeira vista, esta tarefa parece simples – as variáveis de decisão seriam:

1. a quantidade de contêineres vazios, de cada tipo k , transportada para cada navio n entre os portos i e j .
2. a quantidade de contêineres vazios, de cada tipo k , transportada por caminhão do porto i ao porto j para atender a demanda de exportação no navio n .
3. a quantidade de contêineres vazios de cada tipo k , alugada no porto i para atender a demanda de exportação no navio n .

É necessário um cuidado adicional para especificar as variáveis de decisão, face ao aspecto particular dos *schedules* dos navios. Dado um horizonte de planejamento, ainda que a duração de uma viagem redonda de um navio seja menor do que a amplitude do intervalo, o navio poderá passar mais de uma vez por algum porto. Por exemplo, é comum a passagem pelo porto de Santos de um navio vindo da Europa, deixando lá os contêineres de importação e seguindo para portos mais ao sul; ao retornar ele passa novamente por Santos para carregar os contêineres de exportação.

Considerando a possibilidade de ocorrer mais de uma passagem do navio por dado porto, dentro do horizonte de planejamento, as variáveis de decisão mencionadas devem ter um índice adicional associado ao dia de sua passagem.

Assim, as variáveis serão designadas por:

- $X_{t,n,i,j,k}$, variável inteira não negativa que indica a quantidade de contêineres do tipo k embarcadas no porto i , no dia t , no navio n , com destino ao porto j ,
- $W_{t,n,i,j,k}$, variável inteira não negativa que indica a quantidade de contêineres do tipo k despachadas por caminhão, na data t , do porto i , com destino ao porto j , para atender a demanda de exportação do navio n ;
- $Y_{t,n,i,k}$, variável inteira não negativa que indica a quantidade de contêineres do tipo k alugados no porto i para atender a demanda de exportação do navio n no dia t .

Convém observar que, por analogia com a variável X , também para a variável W , o índice t especifica o dia em que o contêiner vazio é retirado do porto i , mas o seu valor está diretamente ligado à data da passagem do navio n no porto j . A data representada pelo índice t é formada pelo tempo de viagem mais o prazo de antecedência. Isto é, se o navio n vai fazer escala no porto j no dia t' , o dia t em que o caminhão deve sair do porto i levando contêiner vazio para o porto j é obtido por meio da expressão: $t=t'-(tvc_{ij} + \text{prazo})$ em que tvc_{ij} é o tempo de viagem por caminhão entre os portos i e j e prazo é o intervalo de tempo necessário para que um contêiner vazio entregue no porto i possa ser ovado (carregado) para exportação.

Além das variáveis de decisão X, W e Y , que caracterizam as decisões a serem tomadas, introduz-se ainda a variável:

- $EST_{t,n,i,k}$: é o estoque de contêineres do tipo k , no porto i , depois da passagem do navio n no dia t .

Cabe mencionar que, com a forma escolhida para indexar as variáveis de decisão X , incluindo um índice adicional t em relação à notação utilizada por Barco (1998), desaparecem as indefinições que o conduziram a substituir, na implementação computacional de seu modelo, cada navio por dois outros: navio sul, para o trecho da viagem no sentido sul e navio norte, para o trecho da viagem no sentido norte.

Tendo em vista aperfeiçoar o modelo matemático de Barco (1998), explicitando a variação dos índices nas diversas somatórias e levando em conta as dificuldades encontradas por Ono (2001) ao trabalhar com navios porta contêineres em rotas cíclicas, é conveniente introduzir o conceito de portos antecessores e sucessores de um porto i na rota de um navio n , como se expõe a seguir, respeitando o *schedule* de cada navio.

Considerando que, numa viagem de um navio porta contêiner, os portos da costa brasileira sejam visitados tanto no sentido sul, quando o navio vem da Europa (ou Estados Unidos) ou no sentido norte, quando o navio retorna para a Europa, e que alguns portos brasileiros sejam visitados duas vezes, para a modelagem matemática do problema de reposicionamento de contêineres vazios, é relevante definir, para um dado navio n e um dado porto p , quais são os portos antecessores e quais os portos sucessores. Isto é, de que portos o navio n pode levar contêineres vazios para o porto p e para que portos o navio n pode levar contêineres vazios disponíveis no porto p . Se o navio n visita o porto p duas vezes, é necessário especificar os antecessores e sucessores, em cada uma das visitas. Isto é, é preciso definir o dia t de cada visita e, então, definir para o navio n quando de sua passagem pelo porto p no dia t , quais são os portos antecessores e quais os portos sucessores.

Convém ainda mencionar que o estabelecimento dos portos antecessores e sucessores não deve ser uma simples consulta aos *schedules* dos navios, mas deve eliminar movimentações de contêineres que, a priori, são ineficientes ou não têm sentido. Assim, por exemplo, se o navio N vai passar pelo porto de Santos no sentido sul e no sentido norte e depois passar pelo porto de Salvador, este deve ser considerado sucessor de Santos somente na segunda passagem. Da mesma forma, se na viagem sul, o navio N passou por Suape, este porto deve ser considerado anterior de Santos somente na primeira passagem. Também Santos na segunda passagem não é sucessor de Santos na primeira passagem.

Convém enfatizar que o procedimento descrito vale para uma rota cíclica genérica e se aplica a todos os portos da rota, desde que sejam conhecidas as previsões de embarque e desembarque em cada porto.

Para que um contêiner vazio não ocupe o espaço de um contêiner cheio e necessário conhecer a capacidade ociosa do navio entre um porto e outro. Para tanto é preciso ter: uma

matriz de carregamento do navio quando este chega ao primeiro porto; uma matriz para cada porto brasileiro de carga e descarga do contêiner cheio. Com isso sabe-se a quantidade de espaços vagos no navio que poderão ser ocupados por contêineres vazios.

Função objetivo

O modelo tem como função objetivo a minimização dos custos de realocação de contêineres vazios, com o comprometimento de total atendimento das demandas. A função objetivo é composta por quatro parcelas:

- A primeira parcela refere-se ao custo unitário de movimentação de contêineres vazios efetuada por navio multiplicado pela quantidade de contêineres vazios movimentada por navio

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{j \in SUC(i, n, t)} \sum_{k \in K} C1_{i, j, k} \cdot X_{t, n, i, j, k} \quad (3.1)$$

- A segunda parcela refere-se ao custo unitário de movimentação de contêineres vazios por meio rodoviário multiplicado pela quantidade de contêineres vazios movimentada por meio rodoviário.

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{\substack{j \in J \\ i \neq j}} \sum_{k \in K} C2_{i, j, k} \cdot W_{t, n, i, j, k} \quad (3.2)$$

- A terceira parcela refere-se ao custo unitário para aquisição de contêineres vazios por *leasing* multiplicado pela quantidade de contêineres vazios alugados

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C3_{i, k} \cdot Y_{t, n, i, k} \quad (3.3)$$

- A quarta parcela refere-se ao custo unitário de estocagem de contêiner vazio multiplicado pela quantidade de contêineres vazios estocados e pelos dias que os contêineres ficarão estocados.

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C4_{i, k} \cdot EST_{t, n, i, k} \cdot TEMP_{t, n, i} \quad (3.4)$$

A função objetivo é assim calculada:

$$\begin{aligned}
z = & \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{j \in SUC(i,n,t)} \sum_{k \in K} C1_{i,j,k} \cdot X_{t,n,i,j,k} + \\
& \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{\substack{j \in J \\ i \neq j}} \sum_{k \in K} C2_{i,j,k} \cdot W_{t,n,i,j,k} + \\
& \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C3_{i,k} \cdot Y_{t,n,i,k} + \\
& \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C4_{i,k} \cdot EST_{t,n,i,k} \cdot TEMP_{t,n,i}
\end{aligned} \tag{3.5}$$

em que:

- $C1_{i,k,j}$: é o custo unitário de movimentação de contêineres vazios, do tipo k do porto i para o porto j por meio de navios;
- $C2_{i,k,j}$: é o custo unitário de movimentação de contêineres vazios, do tipo k do porto i para o porto j por meio rodoviário;
- $C3_{i,k}$: custo unitário de leasing para contêineres vazios, do tipo k no porto i .
- $C4_{i,k}$: é o custo unitário de estocagem, por uma unidade de tempo para contêineres vazios do tipo k no porto i .
- $TEMP_{t,n,i}$: é o intervalo de tempo entre a passagem do navio n , que passa na data t no porto i , e o navio antecessor a este. Caso não exista um antecessor a este navio, este tempo é calculado a partir do primeiro dia do período de análise.
- $SUC_{i,n,t}$: é o conjunto de portos sucessores ao porto i na passagem do navio n na data de índice t .
- $EST_{t,n,i,k}$: é o estoque de contêineres vazios do tipo k , na data t , no porto i , na passagem do navio n .

Restrições

RESTRICÃO DE EQUILÍBRIO

$$\begin{aligned}
 EST_{t,n,i,k} = & EST_{t'=ATT(t,n,i),n'=ANN(t,n,i),i,k} + O_{t,n,i,k} + \\
 & + Y_{t,n,i,k} - \sum_{j \in SUC(i,n,t)} X_{t,n,i,j,k} + \\
 & + \sum_{n' \in NCON(t,n,i)} \sum_{j \in JCON(n',t,n,i)} X_{t'=TVIS(n',j),n',j,i,k} + \\
 & - \sum_{t'=ATT(t,n,i)+1}^t \sum_{j \in J} \sum_{n' \in NSC(t',i,j)} W_{t',n',i,j,k} + \\
 & + \sum_{j \in J} W_{t'=t-\text{prazo}-TVC(j,i),n,i,j,k}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

$$t \in T, n \in N, i \in I, k \in K$$

em que:

- $EST_{t,n,i,k}$: é o estoque de contêineres vazios do tipo k , do porto i , após a passagem do navio n na data t .
- $ATT_{t,n,i}$: é o índice do dia da passagem no porto i do navio que precede imediatamente o navio n em sua passagem por este no dia t ;
- $ANN_{t,n,i}$: é o índice do navio que precede imediatamente o navio n em sua passagem pelo porto i no dia t ;
- $O_{t,n,i,k}$: representa a diferença entre a oferta e a demanda de contêineres vazios para atender a demanda de exportação de contêineres cheios do tipo k no porto i , pelo navio n no dia t . Este parâmetro representa essencialmente um balanço entre os contêineres que voltaram ao porto de clientes de importação ou do reparo, tornando-se disponíveis para os clientes de exportação, e os contêineres necessários para atender a demanda de exportação neste porto. (No caso de aplicação sucessiva do modelo, o parâmetro $O_{t,n,i,k}$ deve levar em conta reposicionamentos de contêineres vazios previamente programados). O parâmetro pode ser positivo, significando que há um excesso de oferta de contêineres vazios, ou negativo, significando que há um excesso de demanda;
- $Y_{t,n,i,k}$: é a quantidade de contêineres vazios do tipo k alugados, no porto i para atender a demanda do navio n , no dia t ;
- $SUC(i,n,t)$: é o conjunto de portos sucessores do porto i na rota do navio n após sua passagem no dia t ;
- $X_{t,n,i,j,k}$: é a quantidade de contêineres vazios do tipo k embarcados no navio n no porto i para o porto j na data t .
- **prazo**: é o prazo de antecedência com que um contêiner vazio deve chegara um porto tendo em vista o seu carregamento num dado navio.
- **TVIS (n,i)**: é o dia em que o navio n visita o porto i (no caso de dupla passagem, haverá dois valores para $TVIS_{n,i}$);
- $NCON(t,n,i) = \{n' \in N: ATT_{t,n,i} - \text{prazo} < TVIS_{n',i} \leq t - \text{prazo}\}$ representa o conjunto de navios que podem trazer contêineres vazios para atender especificamente a demanda do navio n no porto i no dia t

- **ANT(i,n,t)**: é o conjunto de portos antecessores do porto i na rota do navio n , por ocasião de sua visita no dia t . (Convém enfatizar que a definição de conjunto de portos antecessores leva em conta os comentários mencionados na seção 0);
- **JCON(n',t,n,i)** = { $j \in I : j \in \text{ANT}_{i,n',t'=\text{TVIS}_{n',i}}$ } Convém observar que, para um navio n' , o dia t' deve pertencer ao intervalo $[\text{ATT}_{t,n,i}-\text{prazo}, t-\text{prazo}]$, conforme explicitado na definição do conjunto $\text{NCON}_{t,n,i}$.
- **TVC(i,j)**: é a duração da viagem de caminhão do porto i ao porto j ;
- **NSC(t',i,j)** = { $n' \in N : \text{TVIS}_{n',j} = t' + \text{TVC}_{i,j} + \text{prazo}$ };
- **W_{t,n,i,j,k}**: é a quantidade de contêineres do tipo k despachadas por caminhão, na data t , do porto i , com destino ao porto j , para atender a demanda de exportação do navio n .

RESTRICÃO DO ESPAÇO OCUPADO PELOS CONTÊINERES VAZIOS

Para cada navio n , no trecho a partir de cada porto, em que ele passa no instante $tvis(n,l)$, eventualmente passando duas vezes, impõe-se que os contêineres vazios somente possam ocupar o espaço não utilizado pelos contêineres cheios, medido em TEUs.

Essa restrição tem a finalidade de evitar uma perda de receita excessiva causada pela substituição de contêineres cheios (geram frete) por contêineres vazios.

A restrição pode ser assim formulada:

$$\sum_{j \in \text{SUC}(l,n,t=\text{tvis}(n,l))} \sum_{k \in K} C(k) X_{t=\text{tvis}(n,l),n,l,j,k} + \sum_{i \in \text{ANT}(n,l,t=\text{tvis}(n,l))} \sum_{j \in \text{SUC}(l,n,t=\text{tvis}(n,l))} \sum_{k \in K} C(k) X_{t=\text{tvis}(n,l),n,i,j,k} \leq CA_{n,l} \quad (3.7)$$

$n \in N, l \in I$, todo $\text{TVIS}_{n,l}$

-
- C_k é o espaço em TEUs ocupado por um contêiner do tipo k (para contêineres de 20 pés, este parâmetro assume valor 1 e, para contêineres de 40 pés, valor 2);
- $CA_{n,l}$ é o espaço disponível, em TEUs, no navio n destinado ao transporte de contêineres vazios quando ele sai do porto l .

RESTRICÃO DE ESTOQUE MÍNIMO

$$EST_{t,n,i,k} \geq EST_{i,k}^{MIN} \quad (3.8)$$

- $EST_{i,k}^{MIN}$: é o estoque mínimo de contêineres do tipo k que deve ser mantido no porto i .

Essa restrição tem a finalidade de garantir que o estoque mínimo do porto i para o contêiner do tipo k seja atendido.

Conhecendo-se as características básicas do problema, foi desenvolvido um modelo de programação linear, que aloca os contêineres com base nas informações obtidas. O modelo foi compilado de acordo com as normas de uma empresa de navegação. Para a tomada de decisão, são considerados os custos logísticos envolvidos, como armazenagem, transporte e aluguel. Novamente deve-se enfatizar que não se consegue atribuir todos esses custos com facilidade, pois alguns deles não são diretos e outros podem variar com o período e com a quantidade transportada, mas o modelo deve ser ajustado para que ele aponte a melhor opção.

A tabela apresentada a seguir apresenta uma parte dos resultados da comparação do estoque de contêineres antes dos reposicionamentos serem programados na primeira coluna e o estoque previsto com os reposicionamentos programados na segunda coluna. Observa-se que as demandas foram atendidas, pois não há mais estoques negativos.

Estoque ANTES do Reposicionamento							
DIA	NAVIO	PORTO	DC-20	RF-20	DC-40	HC-40	RH-40
	início	FOT	86	0	58	46	0
6	FMAN	FOT	53	0	64	48	0
16	LEBL	FOT	-35	0	85	53	1
22	FLAM	FOT	-4	0	106	66	2
24	FMAC	FOT	11	0	113	71	2
26	FMAN	FOT	54	0	128	81	3
	início	ITJ	21	3	156	115	6
16	SEAXP	ITJ	-25	0	122	327	-51
24	MAVAN	ITJ	-52	0	99	360	-58
29	ALHAM	ITJ	-97	0	57	346	-77
	início	MAO	413	0	213	168	2
24	FSAN	MAO	603	1	148	-113	1
28	FLAM	MAO	709	3	105	-286	3
	início	MCZ	0	0	0	0	0
8	FMAN	MCZ	0	0	0	4	0
27	FMAC	MCZ	1	0	0	28	0
	início	PEC	34	3	24	25	95
23	SEAXP	PEC	23	-1	-11	-1	38
25	CASMA	PEC	23	-1	-13	-4	32
31	MAVAN	PEC	24	-2	-14	-16	13
	início	PNG	33	1	9	66	5
10	MAVAL	PNG	47	2	-4	108	0
15	SEAXP	PNG	68	3	-21	169	-5
16	SEV	PNG	72	3	-22	173	-5
20	PEARG	PNG	84	3	-24	200	-8
21	MAVAN	PNG	101	3	-26	231	-11
23	LBB	PNG	105	3	-26	239	-12
27	ALHAM	PNG	114	3	-29	255	-15
28	CSHAM	PNG	126	3	-34	265	-17
30	PRN	PNG	144	3	-41	280	-20
31	MANEW	PNG	165	3	-49	298	-24

Estoque DEPOIS do Reposicionamento							
DIA	NAVIO	PORTO	DC20	RF20	DC40	HC40	RH40
	início	FOT	86	0	58	46	0
6	FMAN	FOT	89	0	59	39	0
16	LEBL	FOT	89	0	48	44	0
22	FLAM	FOT	120	0	69	57	1
24	FMAC	FOT	135	0	76	62	1
26	FMAN	FOT	178	0	91	72	2
	início	ITJ	21	3	156	115	6
16	SEAXP	ITJ	24	0	92	322	51
24	MAVAN	ITJ	24	0	67	355	70
29	ALHAM	ITJ	24	0	25	341	51
	início	MAO	413	0	213	168	2
24	FSAN	MAO	603	1	148	150	1
28	FLAM	MAO	709	3	105	150	3
	início	MCZ	0	0	0	0	0
8	FMAN	MCZ	0	0	0	0	0
27	FMAC	MCZ	1	0	0	24	0
	início	PEC	34	3	24	25	95
23	SEAXP	PEC	23	2	6	9	38
25	CASMA	PEC	23	2	6	9	32
31	MAVAN	PEC	24	2	6	9	13
	início	PNG	33	1	9	66	5
10	MAVAL	PNG	49	2	45	92	6
15	SEAXP	PNG	49	3	45	153	6
16	SEV	PNG	53	3	45	146	6
20	PEARG	PNG	65	3	50	173	15
21	MAVAN	PNG	49	3	48	204	12
23	LBB	PNG	49	3	48	212	11
27	ALHAM	PNG	58	3	50	228	8
28	CSHAM	PNG	70	3	45	238	6
30	PRN	PNG	88	3	53	253	10
31	MANEW	PNG	109	3	45	271	6

Conclusões sobre os resultados obtidos

Este trabalho foi realizado sob a ótica de uma empresa de navegação, avaliando todo o sistema logístico de reposicionamento do contêiner vazio. Esse sistema compreende a rede física envolvida (sistema de distribuição e transporte), além dos custos de transporte, armazenagem e *leasing*. O reposicionamento de contêineres vazios é um problema que ganhou importância em virtude dos custos envolvidos, a redução nestes custos faz diferença na rentabilidade das empresas e garante uma maior competitividade das mesmas frente à concorrência.

O reposicionamento de contêineres vazios é necessário quando há desbalanceamento entre a quantidade de contêineres cheios, que os navios trazem ao porto e a quantidade de contêineres cheios que os navios retiram do porto.

Dado este desbalanceamento, para que não sobrem contêineres num porto, mais precisamente no terminal de contêineres da empresa na região de influência do porto, e não falem contêineres vazios para atender a demanda de exportação em outro porto, a empresa procura reposicionar os contêineres vazios.

O reposicionamento dos contêineres vazios pode ser realizado por meio dos próprios navios da frota, utilizando espaço ocioso nos navios, ou por meio de caminhões. Outra alternativa a ser considerada é o aluguel de contêineres vazios para atender a demanda de exportação.

Logo, o estudo para reposicionar contêineres vazios de portos onde há oferta de contêineres vazios para portos onde há demanda, controlar estoques e escolher o tipo de transporte ou *leasing* deve ser efetuado de modo a minimizar custos.

O modelo proposto neste trabalho dá continuidade à dissertação de Barco, B. L. (A logística do contêiner vazio, 1998). O ponto de partida para Barco, foi o trabalho de Crainic, Gendreau e Dejax (*Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers*), cujo modelo inclui na rede física os portos, os depósitos em terra, os clientes de demanda, os clientes de oferta e os arcos de conexão. Também foram levados em consideração a demanda e oferta de contêineres vazios externas ao sistema. O modelo considera as dimensões tempo e espaço, por isso a rede física é vista de acordo com os períodos de tempo. O objetivo é a minimização dos custos com a necessidade de atender a demanda, podendo introduzir novos contêineres no sistema.

Segundo Barco, o modelo de Crainic, Gendreau e Dejax é bastante complexo para ser aplicado a um caso real, devido à dificuldade de obtenção dos dados de entrada. Já o modelo de Barco mostra-se de fácil utilização, sendo aplicado à um caso real.

As mudanças realizadas por Barco em relação ao modelo descrito anteriormente começam pela rede física adotada. Na dimensão tempo, Barco somente identifica para cada porto os instantes em que há passagem de navios. Os clientes de oferta e demanda são representados pelos portos como pontos de oferta e demanda para cada tipo de contêiner. Os depósitos também são considerados portos. Ao contrário de Crainic, Gendreau e Dejax, Barco considera em seu trabalho mais de um tipo de contêiner.

A meta do trabalho objeto deste artigo foi aperfeiçoar o modelo de Barco (1998), tornando-o mais representativo da realidade. A modelagem continuou baseando-se na passagem dos navios pelos portos e não houve alteração da rede física considerada. As mudanças introduzidas foram as seguintes:

- No tratamento dos navios com dupla passagem pelos portos. Barco um navio que faz uma viagem norte-sul e posteriormente sul-norte como sendo dois navios distintos; com isto o espaço reservado ao transporte de contêineres vazios é dividido em duas partes iguais, uma atribuída ao navio na viagem sul e outra na norte. Daí decorre a atribuição de apenas metade da capacidade do navio destinada aos contêineres vazios quando o navio escala duas vezes num mesmo porto. Isto pode fazer com que o atendimento de uma demanda tenha um custo mais alto a ser atendida por um caminhão ou *leasing*. No presente trabalho, os navios com dupla passagem mantêm-se os mesmos ao visitar um porto pela segunda vez.
- No tratamento da capacidade do navio. Em cada trecho da viagem, Barco considera que os contêineres poderiam ocupar até 10% dos espaços (*slots*) do navio; portanto, ele não se preocupa em saber a quantidade de *slots* preenchidos com contêineres cheios em cada trecho da viagem. No presente trabalho, o espaço reservado aos contêineres vazios é aquele não ocupado por contêineres cheios. Desta forma, para cada trecho da viagem tornou-se necessário identificar os contêineres cheios e vazios presentes no navio, tarefa que é relativamente complexa no caso de navios em rota cíclica, e/ou com dupla passagem em portos da rota (e com foi contornado no trabalho de Barco com a introdução do navio sul, navio norte).
- Estabelecimento de um estoque mínimo de contêineres vazios nos portos. Barco não considerou estoque mínimo de contêineres vazios nos portos.
- Inserção de uma janela de tempo entre a chegada de um contêiner vazio nos portos e sua liberação para ser utilizado. Barco considerou que um contêiner

vazio que chegava num determinado porto estava liberado para ser utilizado pelo próximo navio. Esta condição funciona muito bem quando existe um certo intervalo de tempo entre a chegada de um contêiner vazio num navio e a chegada do próximo navio, mais quando dois navios chegam a um porto num mesmo dia ou quando o intervalo de tempo entre as chegadas dos mesmos é pequena, esta hipótese torna-se irreal. No presente trabalho o contêiner só será liberado para determinado navio após cumprir um prazo em dias, ou seja, o contêiner vazio tem que chegar ao porto com um prazo de antecedência para poder embarcar cheio num determinado navio.

Essas alterações no modelo implicaram dificuldades não triviais em sua implementação computacional, principalmente na questão que se refere ao tratamento de duas passagens de um mesmo navio em um mesmo porto numa mesma viagem e no tratamento da passagem de mais de um navio em um mesmo dia em um mesmo porto.

A avaliação das Variações de parâmetros do modelo também foi bastante útil para examinar a consistência do modelo.

Foram utilizados dois cenários chamados:

- Cenário Barco. O cenário Barco foi feito com dados colhidos por Barco, em uma empresa de navegação. Neste caso não havia dados referentes ao transporte de contêineres cheios em cada trecho da viagem e, portanto, foi utilizada a mesma restrição de capacidade adotada por Barco, (capacidade disponível do navio fixada em 10%). Para este cenário foram examinadas 4 variações nos parâmetros de custos; a partir da análise comparativa dos resultados, conclui-se pela consistência do modelo e principalmente de sua implementação computacional.
- Cenário Atualizado. O cenário Atualizado foi elaborado com dados atuais da empresa de navegação. Neste caso foram colhidos dados referentes ao transporte de contêineres cheios em cada trecho da viagem e, portanto, foi feita a mudança na restrição de capacidade disponível no navio, como descrito anteriormente. Para este cenário a partir dos resultados obtidos para a configuração padrão, foi feita uma modificação nos parâmetros aos espaços disponíveis para contêineres vazios em diversos trechos da viagem, constatando-se então a consistência da restrição de capacidade introduzida na modelagem.

Não houve preocupação em comparar os resultados dos dois modelos porque, embora busquem representar o mesmo processo real eles o fazem com diferentes graus de aproximação. O presente modelo a partir de sugestões feitas no trabalho em que o outro modelo foi proposto descreve melhor a realidade. Também a comparação para uma única base de dados poderia ser pouco relevante.

A necessidade de refazer um modelo matemático para ser mais adequado à realidade trouxe questões que não foram exploradas pelos trabalhos anteriores, como, por exemplo, o tempo de espera de contêineres até a sua disponibilidade de uso e a questão de disponibilidade de capacidade do navio, isso relacionado à continuidade da rota.

Comentários sobre o emprego do modelo

O modelo proposto neste trabalho mostrou ser mais adequado para a aplicação em casos reais do que os trabalhos anteriores; servindo como ferramenta de apoio para a tomada de decisão nos reposicionamentos de contêineres vazios de uma companhia de navegação. A aplicação do modelo pode ser efetuada considerando o período de planejamento de quatro

semanas, no entanto, ao se adaptar num período de quatro de semanas há dificuldade de obter boas estimativas diferentes às últimas semanas do período, com isso, o sistema deverá ser atualizado semanalmente e inserida uma outra semana.

Outra questão de relevância é o tamanho do modelo: apesar do baixo tempo de processamento, o número de parâmetros e variáveis envolvidos é extremamente grande. É possível, então, que o aumento excessivo do número de elementos dos índices levem a um modelo de porte não suportável em microcomputadores, dado o requerimento de armazenagem do modelo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial**. São Paulo, 1995. Ed Atlas S.A.

BARCO, B. L. **A logística do contêiner vazio**. Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de mestre. São Paulo, 106 p, Mar. 1998.

BOURBEAU, B., CRAINIC, T. G.; GENDRON, B. **Branch-and-bound parallelization strategies applied to a depot location and container fleet management problem**. Parallel Computing, 2000, v.26, pp 27-46.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A. **Gams – Sistema Geral de Modelagem Algébrica**. Ed. Edgard Blücher, 1997.

CHOONG, SOOK TYING; COLE, MICHAEL H.; KUTANOGLU, ERHAN. **Empty container management for intermodal transportation networks**. Transportation Research, part E 38, p. 423-438, Feb. 2002.

CRAINIC, TEODOR GABRIEL; DEJAX, PIERRE; GENDREAU, MICHEL. **Modelling the container fleet management problem using a stochastic dynamic approach**. Centre de recherche sur les transports – Publication #685, Feb 1990.

CRAINIC, T. G.; GENDREAU, M. DEJAX, P. J. **Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers**. Operational Research, v.41, n.1, p.102-126, Jan./Feb., 1993.

DEJAX, PIERRE J.; CRAINIC, TEODOR GABRIEL. **Models for empty freight vehicle transportation logistics**. Paper presented at EURO VIII, Lisbon, Portugal, September 1986.

DEJAX, PIERRE J.; CRAINIC, TEODOR GABRIEL. **A review of flows and fleet management models in freight transportation**. Operations Research Society of America, 1997, v.21, n.4, pp 227-247.

ERLENKOTTER, D. **Dual-based procedure for uncapacitated facility location**. Operations Research, 1978, v.26, n.6, pp. 992-1009.

FLEISCHMANN, M.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; LAAN, R. D. E. van der, NUNEN, J. A. E.E. van, WASSENHOVE, L.N. van. **Quantitative models for reverse logistics: A review**. European Journal of Operational Research, n. 103, pp. 1-17, 1997

FLOREZ, H. **Empty-container repositioning and leasing: an optimization model**. Tese de D. Sc., Instituto Politécnico de Nova York, NY, EUA.

GEOFFRION, A.M. The purpose of mathematical programming is insight, not numbers. **Interfaces** V.7, no. 1, jan.-feb.. 1976b, p. 81-93.

HEE, K. M. VAN & WIJBRANDS, R. J. **Decision support system for container terminal planning**. European Journal of operational Research, v.34, pp. 262-272.

HINO, C. M. **Métodos heurísticos para elaboração de planos de estivagem de navios porta-contêineres**. Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de mestre. São Paulo, 221 p, Set. 1999.

KOPICKY, R. J.; BERG, M. J.; LEGG, L.; DASAPPA, V. E MAGGIONI, C. **Reuse and recycling: Reverse logistics opportunities**. Council of logistics Management, 2803, 1993. Butterfield Road Oak Brook, IL 60521.

LAI, K. K.; LAM, K.; CHAM, W. K. **Shipping container logistics and allocation**. Journal of the Operational Research Society, v.46, n.6, p. 687-697.

MENDES, ANDRÉ B.; FERNANDES, MARCELO; ONO, RICARDO T. **Transporte marítimo internacional de contêineres**. (2001). Trabalho final apresentado à USP na disciplina pro-5810. São Paulo, dez 2001

OLIVEIRA, R. C. F.; RODEIRO, P. F.; BARCO, B. L.; BRINATI, M. A. **A logística do contêiner vazio: adaptação e melhoria**. Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de Engenheiro. São Paulo, 41 p, Dez.1998.

ONO, R. T. **Estudo de viabilidade do transporte marítimo de contêineres por cabotagem na costa brasileira**. Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de mestre. São Paulo, 2001.

ROBINSON, G. L. Sistema de controle e gerenciamento de contêineres em terminais marítimos. Tese de mestrado IME. Rio de Janeiro, 1986.

SAMPAIO, Léa Maria Dantas. **Alocação de contêineres vazios para a logística reversa do transporte de carga**. Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro para obtenção do título de mestre. Rio de Janeiro, março de 2001.

SOUZA, A. A. R. **Terminais de Contêineres/Unitização**. In: Relatórios Internos, Câmara Brasileira de Contêineres, Rio de Janeiro, RJ. 1998.

VELASCO, L. O. M.; TEIXEIRA Lima, E. **“Logística e Contêineres no Brasil”**. Informe Infra-Estrutura BNDES, n.26, maio/98.

WHITE, W. W. **Dynamic transshipment network: an algorithm and its application to the distribution of empty containers**. Networks, n.2, p.211-236, 1972.



A logística do contêiner vazio, uma nova abordagem

Prof^a Ms. Líria Baptista de Rezende

Prof. Dr. Marco A. Brinati

O problema do contêiner vazio

Equipamento não descartável

Necessidade de um espaço
para ser estocado

Planejamento logístico para
ser reutilizado



Dimensionamento e gerência da
frota de contêineres

Gerência da intermodalidade

Reposição de contêineres vazios
pré-posicionados do
carregamento do navio

Desbalanceamento de
contêineres cheios entre
importação e exportação



Logística

Como suprir a demanda de contêineres vazios nos portos?

Quando iniciar o transporte?

Qual o porto de origem e de destino

Como fazê-lo: de navio, caminhão ou leasing?



Planejamento futuro

**PREVISÕES DE DEMANDA NOS
PORTOS**

**PREVISÕES DE OFERTA NOS
PORTOS**

PROGRAMAÇÃO DOS NAVIOS



•Fatores que influem no planejamento:

-Fechamento de carga para um navio específico

-Data de partida desse navio

-Estoque de contêineres vazios

-Retorno de contêineres que estavam antes com carga ou em reparo

Incertezas do problema

Previsão da área comercial exagerada

Cancelamento da carga

Quebra de portainer

Greve de trabalhadores dos portos ou empresas que prestam serviços para os portos

Avaria do próprio equipamento e tempo de reparo

Demora na devolução dos contêineres vindos de importação

Fiscalização das autoridades

Mudança de *schedule* dos navios

OBJETIVOS

Elaborar um modelo de planejamento logístico para auxiliar a empresa de navegação a tomar decisões referentes ao posicionamento e leasing de contêineres vazios visando a minimização de custos.

Melhorias no modelo

Tratamento dos navios com dupla passagem pelos portos

Restrição de capacidade observada em cada trecho

Inserção de um prazo de antecedência para a chegada de um contêiner no porto

MODELO MATEMÁTICO

Índices

n : navios participam do processo e N o conjunto de navios;

i, j, t : portos e I o conjunto de portos;

k : tipo de contêiner e K o conjunto de contêineres;

t : para indicar a unidade de tempo; em dias e T o conjunto dos dias.

MODELO MATEMÁTICO

Parâmetros

$C1_{i,k,j}$: custo unitário de movimentação de contêineres vazios por meio de navios;

$C2_{i,k,j}$: custo unitário de movimentação de contêineres vazios por meio rodoviário;

$C3_{i,k}$: custo unitário de *leasing* para contêineres vazios;

$C4_{i,k}$: custo unitário de estocagem, por uma unidade de tempo para contêineres vazios.

$TEMP_{t,n,i}$: intervalo de tempo entre a passagem do navio n , que passa na data t no porto i , e o navio antecessor a este. Caso não exista um antecessor a este navio, este tempo é calculado a partir do primeiro dia do período de análise.

$SUC_{i,n,t}$: conjunto de portos sucessores ao porto i na passagem do navio n .

MODELO MATEMÁTICO

Variáveis de decisão (inteiras e não negativas)

$X_{t,n,i,j,k}$, quantidade de contêineres do tipo k embarcadas no porto i , no navio n , com destino ao porto j ,

$W_{t,n,i,j,k}$, quantidade de contêineres do tipo k despachadas por caminhão, do porto i , com destino ao porto j , para atender a demanda de exportação do navio n ;

$Y_{t,n,i,k}$, quantidade de contêineres do tipo k alugados no porto i para atender a demanda de exportação do navio n no dia t .

MODELO MATEMÁTICO

Variável

$EST_{t,n,i,k}$ estoque de
contêineres do tipo k , no
porto i , depois da
passagem do navio n no dia
 t .

MODELO MATEMÁTICO

*Função
Objetivo*

$$z = \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{j \in SU(i,n,t)} \sum_{k \in K} c_{i,j,k} \cdot X_{t,n,i,j,k} +$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{\substack{j \in J \\ i \neq j}} \sum_{k \in K} c_{i,j,k} \cdot W_{t,n,i,j,k} +$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} c_{i,k} \cdot Y_{t,n,i,k} +$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} c_{i,k} \cdot EST_{t,n,i,k} \cdot TEMP_{t,n,i}$$

Restrição de Equilíbrio

$$\begin{aligned}
 EST_{t,n,i,k} = & EST_{t=ATT(t,n,i) \ n'=ANN(t,n,i) \ i,k} + O_{t,n,i,k} + \\
 & + Y_{t,n,i,k} - \sum_{j \in SU(i,n,t)} X_{t,n,i,j,k} + \\
 & + \sum_{n' \in NCON(n,i)} \sum_{j \in JCON(n',t,n,i)} X_{t'=TVI(n',j) \ n',j,i,k} + \\
 & - \sum_{t'=ATT(t,n,i)+1}^t \sum_{j \in J} \sum_{n' \in NS(t',i,j)} W_{t' \ n' \ i,j,k} + \\
 & + \sum_{j \in J} W_{t=t-prazoTVC(i) \ n,i,j,k}
 \end{aligned}$$

Parâmetros Auxiliares

$ATT_{t,n,i}$ é o índice do dia da passagem no porto i do navio que precede imediatamente o navio n em sua passagem por este no dia t ,

$ANN_{t,n,i}$ é o índice do navio que precede imediatamente o navio n em sua passagem pelo porto i no dia t ,

$O_{t,n,i,k}$: representa a diferença entre a oferta e a demanda de contêineres vazios para atender a demanda de exportação de contêineres cheios do tipo k no porto i , pelo navio n no dia t .

prazo: é o prazo de antecedência com que um contêiner vazio deve chegar a um porto tendo em vista o seu carregamento num dado navio.

TVIS (n,i) : é o dia em que o navio n visita o porto i (no caso de dupla passagem, haverá dois valores para $TVIS_{n,i}$);

→ $NCON(t, n, i) = \{n' \in N : ATT_{t, n, i} - \text{prazo} < TVIS_{n', i} \leq t - \text{prazo}\}$ representa o conjunto de navios que podem trazer contêineres vazios para atender especificamente a demanda do navio n no porto i no dia t

→ $ANT(i, n, t)$: é o conjunto de portos antecessores do porto i na rota do navio n , por ocasião de sua visita no dia t .

→ $JCON(n', t, n, i) = \{j \in I : j \in ANT_{i, n', t' = TVIS_{n', i}}\}$ Convém observar que, para um navio n' , o dia t' deve pertencer ao intervalo $[ATT_{t, n, i} - \text{prazo}, t - \text{prazo}]$, conforme explicitado na definição do conjunto $NCON_{t, n, i}$.

→ $TVC(i, j)$: é a duração da viagem de caminhão do porto i ao porto j ;

→ $NSC(t', i, j) = \{n' \in N : TVIS_{n', j} = t' + TVC_{i, j} + \text{prazo}\}$;

RESTRIÇÃO DO ESPAÇO OCUPADO PELOS CONTÊINERES VAZIOS

$$\sum_{j \in SUC(l, n, t = tvis(n, l))} \sum_{k \in K} C(k) X_{t = tvis(n, l), n, l, j, k} +$$

$$\sum_{i \in ANT(n, l, t = tvis(n, l))} \sum_{j \in SUC(l, n, t = tvis(n, l))} \sum_{k \in K} C(k) X_{t = tvis(n, l), n, i, j, k} \leq CA_{n, l}$$

$n \in N, l \in I,$

C_k é o espaço em TEUs ocupado por um contêiner do tipo k (para contêineres de 20 pés, este parâmetro assume valor 1 e, para contêineres de 40 pés, valor 2);

$CA_{n, l}$ é o espaço disponível, em TEUs, no navio n destinado ao transporte de contêineres vazios quando ele sai do porto l .

Restrição de estoque mínimo

$$EST_{t,n,i,k} \geq EST_{i,k}^{MIN}$$

$EST_{i,k}^{MIN}$: é o estoque mínimo de contêineres do tipo k que deve ser mantido no porto i .

Aplicação do Modelo – CENÁRIO

Período de tempo do dia 4 (T4) ao dia 28 (T28).

Tabelas: navios, tipos de contêineres, portos utilizados, custos, balanço de contêineres no porto, estoque inicial, tempo de trânsito entre um porto e outro por rodovia, capacidade dos navios

Estoque mínimo

Capacidade disponível dos navios

Nome dos navios

Navios	
Sigla	Nome
INTRE	Intrépido
INDEP	Independente
FMAN	Frota Manaus
LEBL	Leblon
FMAC	Frota Macan
FRIO	Frota Rio
FSAN	Frota Snatos
FLAM	Flamengo
FBEL	Frota Belen
LBL	Libra Livorno
CRE	Cabo Creus
PRN	Cala Parana
SEV	Sevilla
PAD	Calapadria
LBB	Libra Barcelona
CASAU	Cap San Augustin
CASNI	Cap San Nicolas
CASAN	Cap San Antonio
CASLO	Cap San Lorenzo
CASMA	Cap San Marco
CASRA	Cap San Raphael

Navios	
Sigla	Nome
MANEW	Maersk Newark
MAVAL	Maersk Valencia
COMAL	Conti Malaga
PEARG	P & O Eagle
CSHAM	Hamburgo
MOBEL	Montebello
VERUD	Veruda
COLEX	Columbian Express
STOJA	Stoja
CAFIN	Cap Finnister
ALBRA	Aliança Brasil
ALEUR	Aliança Europa
CAROC	Cap Roca
CAPOL	Cap Polônio
CPAST	CGM Pasteur
ALBAH	Aliança Bahia
SEXP	Santos Express
MAVAN	Maersk Vancouver
ALHAM	Aliança Hamburgo
CAPCA	Cap Castilho
PEGAS	Pegasus

Tipos de contêineres

Contêiner padrão com 20 pés de comprimento - DC-20

Contêiner refrigerado com 20 pés de comp. - RF-20

Contêiner padrão com 40 pés de comprimento - DC-40

Contêiner com 9.6 pés de altura e 40 pés de comprimento
- HC-40

Contêiner refrigerado com 9.6 pés de altura e 40 pés de
comprimento - RH-40

Portos Utilizados

Portos	
Sigla	Nome
FOR	Fortaleza
ITJ	Itajaí
MAO	Manaus
MCZ	Maceió
PEC	Ceará
PNG	Paranagua
RIG	Rio Grande
RIO	Rio de Janeiro
SEP	Sepetiba
SFS	São Francisco
SLZ	São Luiz
SSA	Salvador
SSZ	Santos
SUP	Suape
VIX	Vitória

Programação dos navios

	6	8	12	12	14	18	20	24	26
FMAN	FOR	MCZ	SEP	SSZ	SFS	RIG	SSZ	SUP	FOR

	7	9	14	16	21	24	25
LEBL	RIG	SFS	SUP	FOR	SSA	SEP	SSZ

	14	15	16	23	24	28	29
SEV	RIO	SSZ	PNG	SFS	SSZ	SSA	SUP

	8	11	12	18	21	22	25
CASMA	SUP	RIO	SSZ	RIG	SSZ	RIO	PEC

	11	13	15	16	17	20	23
SEAXP	RIO	SSZ	PNG	ITJ	SSZ	SSA	PEC

	19	20	21	24	25	28	31
MAVAN	RIO	SSZ	PNG	ITJ	SSZ	SSA	PEC

	14	16	21	24	27	29
FMAC	RDG	SFS	SUP	FOR	MCZ	SSA

	14	16	19	20	22	28
FLAM	SSZ	SEP	SSA	SUP	FOR	MAO

	2	4	9	12	14	17
CASNI	RIO	SSZ	RIG	SSZ	RIO	SUP

	21	22	23	29	31
LBB	RIO	SSZ	PNG	RIG	SSZ

	17	20	25	28	29
CASRA	SUP	SSZ	RIG	SSZ	RIO

	9	10	11	14	17
MAVAL	SSZ	PNG	SFS	SSZ	SSA

	18	20	23	27	30
PEARG	SSZ	PNG	SFS	SSZ	SSA

	25	26	27	29	31
ALHAM	RIO	SSZ	PNG	ITJ	SSZ

	11	13	16	24
FSAN	SSZ	SEP	SUP	MAO

	21	24	25	31
CASAN	SUP	RIO	SSZ	RIG

	21	25	28	29
CSHAM	SSZ	SFS	PNG	SSZ

	5	9	15	16
CAFIN	SUP	SSZ	SFS	SSZ

	12	15	22	23
ALBRA	SUP	SSZ	SFS	SSZ

	19	22	29	31
ALEUR	SUP	SSZ	SFS	SSZ

	24	25	31
FBEL	SSZ	SEP	SUP

	28	29	30
PRN	RIO	SSZ	PNG

	28	31
CASAU	SUP	RIO

	30	31
MANEW	SSZ	PNG

	25	29
CAROC	SUP	SSZ

	30	31
INTRE	VIX	SEP

Estoque Inicial

	DC-20	RF-20	DC-40	HC-40	RH-40
FOT	86	0	58	46	0
ITJ	21	3	156	115	6
MAO	413	0	213	168	2
MCZ	0	0	0	0	0
PEC	34	3	24	25	95
PNG	33	1	9	66	5
RIG	191	26	348	225	24
RIO	186	6	72	11	37
SEP	12	0	25	4	0
SFS	234	1	157	82	355
SLZ	34	0	4	2	0
SSA	138	18	175	82	122
SSZ	236	53	202	308	250
SUP	65	8	207	126	71
VIX	9	0	1	0	0

Resultados

Var	Tempo	Port 1	Port 2	Navio	DC20	RF20	DC-40	HC40	RH40
X	T4	SSZ	RIG	CASNI	0	10	0	0	0
Y	T4	SSZ		CASNI	101	0	94	0	0
Y	T5	SUP		CAFIN	15	0	0	0	0
X	T6	FOT	SEP	FMAN	0	0	5	9	0
Y	T6	FOT		FMAN	36	0	0	0	0
X	T7	RIG	SFS	LEBL	0	0	0	3	0
X	T7	RIG	SUP	LEBL	0	0	0	4	0
Y	T7	RIG		LEBL	77	0	0	0	0
X	T8	MCZ	SEP	FMAN	0	0	0	4	0
X	T8	SUP	PEC	CASMA	0	0	1	0	0
X	T8	SUP	RIO	CASMA	0	0	2	0	0
Y	T8	SUP		CASMA	1	0	0	6	0
X	T9	SFS	SUP	LEBL	0	2	0	0	0
X	T9	RIG	RIO	CASNI	0	0	0	0	9
X	T9	SSZ	PNG	MAVAL	0	0	0	0	5
X	T9	SSZ	SFS	CAFIN	0	3	0	0	0
W	T9	SEP	RIO	CASMA	200	0	0	0	0
Y	T9	SFS		LEBL	0	5	0	93	0
Y	T9	RIG		CASNI	28	0	0	0	0
Y	T9	SSZ		MAVAL	182	0	32	0	0
X	T10	PNG	SSA	MAVAL	0	0	0	16	0
Y	T10	PNG		MAVAL	2	0	49	0	6
X	T11	SSZ	MAO	FSAN	0	0	0	54	0
X	T11	SSZ	SEP	FSAN	0	0	6	0	0
X	T11	SSZ	SUP	FSAN	0	2	0	0	0
X	T11	SFS	SSA	MAVAL	0	0	28	0	0
Y	T11	SSZ		FSAN	39	0	0	0	0
Y	T11	RIO		CASMA	0	0	12	24	0

Estoque – reposicionamento programado

Antes

DIA	NAVIO	PORTO	DC-20	RF-20	DC-40	HC-40	RH-40
inicio	FOT		86	0	58	46	0
6	FMAN	FOT	53	0	64	48	0
16	LEBL	FOT	-35	0	85	53	1
22	FLAM	FOT	-4	0	106	66	2
24	FMAC	FOT	11	0	113	71	2
26	FMAN	FOT	54	0	128	81	3
inicio	ITJ		21	3	156	115	6
16	SEAXP	ITJ	-25	0	122	327	-51
24	MAVAN	ITJ	-52	0	99	360	-58
29	ALHAM	ITJ	-97	0	57	346	-77
inicio	MAO		413	0	213	168	2
24	FSAN	MAO	603	1	148	-113	1
28	FLAM	MAO	709	3	105	-286	3
inicio	MCZ		0	0	0	0	0
8	FMAN	MCZ	0	0	0	4	0
27	FMAC	MCZ	1	0	0	28	0
inicio	PEC		34	3	24	25	95
23	SEAXP	PEC	23	-1	-11	-1	38
25	CASMA	PEC	23	-1	-13	-4	32
31	MAVAN	PEC	24	-2	-14	-16	13
inicio	PNG		33	1	9	66	5
10	MAVAL	PNG	47	2	-4	108	0
15	SEAXP	PNG	68	3	-21	169	-5
16	SEV	PNG	72	3	-22	173	-5
20	PEARG	PNG	84	3	-24	200	-8
21	MAVAN	PNG	101	3	-26	231	-11
23	LBB	PNG	105	3	-26	239	-12
27	ALHAM	PNG	114	3	-29	255	-15
28	CSHAM	PNG	126	3	-34	265	-17
30	PRN	PNG	144	3	-41	280	-20
31	MANEW	PNG	165	3	-49	298	-24

Depois

DIA	NAVIO	PORTO	DC-20	RF-20	DC-40	HC-40	RH-40
	FOT		86	0	58	46	0
6	FMAN	FOT	89	0	59	39	0
16	LEBL	FOT	89	0	80	44	1
22	FLAM	FOT	120	0	101	57	2
24	FMAC	FOT	135	0	108	62	2
26	FMAN	FOT	178	0	123	72	3
	ITJ		21	3	156	115	6
16	SEAXP	ITJ	45	0	92	322	77
24	MAVAN	ITJ	57	0	67	355	70
29	ALHAM	ITJ	24	0	25	341	51
	MAO		413	0	213	168	2
24	FSAN	MAO	603	1	148	212	1
28	FLAM	MAO	709	3	105	150	3
	MCZ		0	0	0	0	0
8	FMAN	MCZ	0	0	0	4	0
27	FMAC	MCZ	1	0	0	24	0
	PEC		34	3	24	25	95
23	SEAXP	PEC	23	3	9	24	38
25	CASMA	PEC	23	3	7	21	32
31	MAVAN	PEC	24	2	6	9	13
	PNG		33	1	9	66	5
10	MAVAL	PNG	49	2	45	92	11
15	SEAXP	PNG	49	3	52	153	18
16	SEV	PNG	53	3	52	146	18
20	PEARG	PNG	65	3	50	173	15
21	MAVAN	PNG	49	3	53	204	16
23	LBB	PNG	49	3	53	212	15
27	ALHAM	PNG	58	3	65	228	15
28	CSHAM	PNG	70	3	60	238	13
30	PRN	PNG	88	3	53	253	10
31	MANEW	PNG	109	3	45	271	6

Movimentação de contêiner

TIPO			DC20					RF20					DC40					HC40					RH40				
DIA	NAVIO	PORTO	EST	X	W	O	Y	EST	X	W	O	Y	EST	X	W	O	Y	EST	X	W	O	Y	EST	X	W	O	Y
		FOT	86					0					58					46					0				
6	FMAN	FOT	89	0	0	-33	36	0	0	0	0	0	59	-5	0	6	0	39	-9	0	2	0	0	0	0	0	0
16	LEBL	FOT	89	0	0	-88	88	0	0	0	0	0	49	-31	0	21	0	44	0	0	5	0	0	-1	0	1	0
22	FLAM	FOT	120	0	0	31	0	0	0	0	0	0	70	0	0	21	0	57	0	0	13	0	1	0	0	1	0
24	FMAC	FOT	135	0	0	15	0	0	0	0	0	0	77	0	0	7	0	62	0	0	5	0	1	0	0	0	0
26	FMAN	FOT	178	0	0	43	0	0	0	0	0	0	92	0	0	15	0	72	0	0	10	0	2	0	0	1	0
		ITJ	21					3					156					115					6				
16	SEXP	ITJ	45	21	0	-46	49	0	0	0	-3	0	92	-30	0	-34	0	322	-5	0	212	0	77	26	0	-57	102
24	MAVAN	ITJ	57	33	0	-27	6	0	0	0	0	0	67	-2	0	-23	0	355	0	0	33	0	70	0	0	-7	0
29	ALHAM	ITJ	24	0	0	-45	12	0	0	0	0	0	25	0	0	-42	0	341	0	0	-14	0	51	0	0	-19	0
		MAO	413					0					213					168					2				
24	FSAN	MAO	603	0	0	190	0	1	0	0	1	0	148	0	0	-65	0	212	62	0	-281	263	1	0	0	-1	0
28	FLAM	MAO	709	0	0	106	0	3	0	0	2	0	105	0	0	-43	0	150	0	0	-173	111	3	0	0	2	0
		MCZ	0		0	0	0	0					0					0					0				
8	FMAN	MCZ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4	0	4	0	0	0	0	0	0
27	FMAC	MCZ	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	20	0	0	0	0	0	0
		PEC	34					3					24					25					95				
23	SEXP	PEC	23	0	0	-11	0	3	1	0	-4	3	9	3	0	-35	17	24	15	0	-26	10	38	0	0	-57	0
25	CASMA	PEC	23	0	0	0	0	3	0	0	0	0	7	0	0	-2	0	21	0	0	-3	0	32	0	0	-6	0
31	MAVAN	PEC	24	0	0	1	0	2	0	0	-1	0	6	0	0	-1	0	9	0	0	-12	0	13	0	0	-19	0
		PNG	33					1					9					66					5				
10	MAVAL	PNG	49	0	0	14	2	2	0	0	1	0	45	0	0	-13	49	108	0	0	42	0	6	0	0	-5	6
15	SEXP	PNG	49	-21	0	21	0	3	0	0	1	0	52	7	0	-17	17	169	0	0	61	0	13	12	0	-5	0
16	SEV	PNG	53	0	0	4	0	3	0	0	0	0	52	0	0	-1	1	173	0	0	4	0	13	0	0	0	0
20	PEARARG	PNG	65	0	0	12	0	3	0	0	0	0	50	0	0	-2	0	200	0	0	27	0	10	0	0	-3	0
21	MAVAN	PNG	49	-33	0	17	0	3	0	0	0	0	48	0	0	-2	0	231	0	0	31	0	7	0	0	-3	0
23	LBB	PNG	49	-4	0	4	0	3	0	0	0	0	53	5	0	0	0	239	0	0	8	0	6	0	0	-1	0
27	ALHAM	PNG	58	0	0	9	0	3	0	0	0	0	50	0	0	-3	0	255	0	0	16	0	3	0	0	-3	0

Atualização dos dados de entrada, feita por uma companhia de navegação

Implementação dos níveis de estoque mínimo

Cálculo do balanço de contêineres vazios

Tratamento adequado da capacidade de movimentação de contêineres vazios por navio