

Modelo para Seleção de Cargas no Transporte Marítimo de Contêineres

Tiffany Hashiba – tiffany.hashiba@gestaonaval.org.br

Érico Nunes – erico.nunes@poli.usp.br

Renata Ueda – renata.ueda@gmail.com

Edvilton Galante – edvilton_galante@hotmail.com

Marco Antonio Brinati – mabrinati@usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica

RESUMO

Empresas de navegação, que operam rotas *liner*, lidam continuamente com o problema da programação das cargas que devem ser transportadas por sua frota, a fim de maximizar seu lucro. Nestas empresas, há uma tendência de que a programação seja feita de modo míope, em que cada porto da rota faz a seleção dos clientes de forma a maximizar sua receita local, mas em detrimento de um resultado ótimo global.

Outra abordagem é utilizar uma visão sistêmica e de longo prazo da operação na rota. As decisões devem ser baseadas não apenas na receita, mas também nos custos variáveis envolvidos no transporte e armazenagem das cargas. Ademais, deve ser considerado o reposicionamento tático de contêineres vazios, o que representa um custo no curto prazo, mas que alimenta a cadeia logística evitando a perda de clientes potenciais por falta de equipamento disponível.

Tendo em vista o problema descrito, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta de apoio à decisão para uma empresa de navegação operando numa rota *liner*, de forma a determinar a cartela de clientes e cargas ótima num horizonte de planejamento. Para tanto, foi desenvolvido um modelo de programação linear da rota com os portos, clientes, navios e estoques representando as restrições do sistema e os fluxos de contêineres cheios e vazios sendo as variáveis de decisão.

O modelo, desenvolvido no *software* GAMS, foi utilizado para estudar uma rota *liner* real, utilizando dados de um trabalho precedente para a construção de um cenário base. Além deste, foram criados cenários hipotéticos para avaliar o comportamento do modelo e, pela

análise seus resultados de seleção de cargas e reposicionamento tático de contêineres vazios, este se mostrou consistente como ferramenta de planejamento.

ABSTRACT

Shipping companies operating liner routes have to deal continuously with the problem of scheduling the cargo, in order to maximizing profit. In such companies, there is a tendency for the scheduling to be done in a "myopic" way, in which, each port selects the cargo aiming the maximization of revenue performed immediately, in detriment of an optimal global result.

Another way to tackle the problem is by having a systemic and long term vision of the route operation: decisions must not be based only upon the immediate revenue, but also upon the variable costs involved at cargo transportation and storage. Furthermore, tactical repositioning of empty containers must be considered: even though representing costs in the short term, it feeds the logistics chain, avoid the loss of clients for the lack of available equipment.

Having in mind the presented issue, the main purpose of this project is to develop a decision support tool, intended for a shipping company, operating a liner route, to determine the optimum set of clients in a planning horizon. A linear programming model of the route was developed, with ports, clients, ships and storages, which represent the constraints of the system, and the flows of stuffed and empty containers being the decision variables.

The model was built on the software GAMS and then tested for a real liner route, using data from a preceding project to build the base scenario. Beyond this scenario, the model was tested with hypothetical scenarios in order to evaluate its behavior and, by analyzing the results of selected cargo and tactical repositioning of empty containers, it has proved itself to be consistency as a planning tool.

1. Introdução

Esta seção apresenta uma breve descrição do problema da seleção de cargas integrada ao reposicionamento tático de contêineres vazios, que é o próprio objeto deste estudo, seguida da definição do objetivo do trabalho. Em seguida, é feita uma revisão da bibliografia utilizada e por fim é apresentado o delineamento do estudo.

1.1. Descrição do Problema

Segundo a *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD), o transporte marítimo é o principal meio de movimentação de cargas de longo curso e, em 2007, representou cerca de 80% do volume e 70% do valor do comércio internacional. O contêiner tem papel fundamental neste cenário, já que cargas contêinerizadas representam cerca de 31% da movimentação total de cargas de longo curso, conforme informa a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ).

As diversas empresas de navegação existentes oferecem serviços no transporte marítimo de cargas em contêineres, responsabilizando-se pelo transporte multimodal porta-a-porta¹ e sendo as detentoras dos navios e dos contêineres. Ao ser contratada para realizar o transporte de uma carga, a empresa deve fornecer ao cliente o contêiner para estufagem². Caso não disponha de contêineres vazios no local e no momento em que há a demanda, ela deve realizar o reposicionamento a partir de outros portos ou *leasing*, de forma a não perder o cliente por falta de equipamento disponível.

O desbalanceamento na disponibilidade de contêineres vazios interfere no planejamento de todos os agentes envolvidos no transporte de cargas, sendo gerado naturalmente pelos diferentes perfis de demanda nos portos da rota. Analisando a movimentação de contêineres cheios no porto de Santos em 2007, constatou-se que a quantidade de cargas exportadas, em número de contêineres, é muito maior que a quantidade de cargas que chegam ao país através de importação – foram embarcados 315.715 contêineres de 40 pés, enquanto somente 254.648 foram desembarcados.

Assim, para manter o sincronismo entre oferta e demanda de contêineres, torna-se necessário o planejamento da realocação de contêineres vazios integrado à seleção de cargas para o transporte. No entanto, o corrente nas empresas de navegação é priorizar somente o planejamento do transporte de cargas, pois o transporte de contêineres vazios é uma operação que envolve somente custos, sem geração direta de nenhuma receita. Por tais motivos, neste trabalho foi estudado o planejamento e gerenciamento dos contêineres vazios integrado ao planejamento do transporte de cargas.

¹ Serviço *door-to-door*: serviço em que a transportadora se responsabiliza pelo deslocamento da carga contratada desde o endereço de seu fornecedor até seu destinatário.

² O termo “estufagem” de contêiner significa o procedimento de carregar, de encher o contêiner com a mercadoria a ser transportada. Uma terminologia também muito utilizada no transporte internacional, que pode aparecer como sinônimo para estufagem é “ova”, que possui o mesmo significado.

1.2. Objetivo do Trabalho

O objetivo do estudo foi desenvolver uma Ferramenta de Apoio à Decisão em nível tático, para o planejamento do transporte de cargas integrado à definição do reposicionamento de contêineres vazios para uma rota *liner*. Esta ferramenta define simultaneamente a cartela de clientes, o volume de cargas a ser atendido em cada porto e a quantidade de contêineres vazios a serem reposicionados, de modo a maximizar a margem de contribuição³ da empresa dentro de um horizonte de planejamento.

1.3. Revisão Bibliográfica

BARCO (1998) aborda a questão da logística reversa de uma empresa de navegação, que consiste no processo logístico de retirar produtos de seu ponto inicial na cadeia de suprimento, como devoluções de clientes ou inventário excedente, e redistribuí-los usando regras de gerenciamento dos materiais. Foi desenvolvido um modelo de programação linear para determinação da configuração ótima de reposicionamento de contêineres vazios, segundo seu custo nesta situação, para todas as rotas da empresa.

O modelo atende a necessidade de um armador por uma ferramenta de apoio à decisão em nível operacional, determinando a quantidade ótima de contêineres vazios a ser reposicionada. O modelo é alimentado com previsões de estoque de contêineres vazios nos diversos portos, para determinar os pontos de demanda e de oferta de contêineres.

Conhecendo-se a programação dos navios e as previsões da demanda por contêineres vazios, determina-se a quantidade exata de contêineres vazios a ser transportada, de modo a minimizar o custo total da logística reversa.

O autor utilizou dados reais da empresa Hamburg Süd, permitindo que fosse utilizado no planejamento operacional desta empresa posteriormente, reduzindo os custos da logística reversa e garantindo que não houvesse perda de cargas por falta de equipamentos disponíveis para embarcá-las.

REZENDE (2003) cria um modelo de otimização do planejamento logístico que auxilia a programar o reposicionamento e *leasing* de contêineres vazios. A principal diferença entre o modelo de REZENDE (2003) e de BARCO (1998) é o tratamento dos navios com dupla passagem por um porto como navios únicos. Este modelo foi validado através dos mesmos

³ Margem de contribuição - é o resultado de uma empresa, após a dedução dos respectivos custos e despesas variáveis, exclusivamente.

dados obtidos no trabalho de BARCO (1998), entretanto, não houve comparação posterior dos resultados dos dois trabalhos.

COSTA (2006) desenvolveu um Sistema de Apoio à Decisão (SADE), baseado num modelo de programação linear que maximiza a margem de contribuição do transporte num horizonte de planejamento, auxiliando no planejamento tático da empresa de navegação. Neste estudo, utilizou-se margem de contribuição em detrimento de lucro, dada a dificuldade de obter os reais custos fixos relacionados às operações de transporte. Seu trabalho tem enfoque em uma única rota, também da empresa Hamburg Süd.

Foram utilizadas informações como as demandas totais pelo transporte de carga, a disponibilidade de contêineres vazios, bem como a estocagem de cargas em cada porto, a capacidade dos navios e as restrições operacionais e de participação por tipo de carga. O modelo foi aplicado a uma rota Brasil – Europa⁴. Testaram-se diferentes cenários, buscando avaliar como a participação de certas cargas, as restrições operacionais e a logística do contêiner vazio impactam no plano de negócios da empresa.

COSTA (2006) evidencia a aderência do modelo à realidade, através de testes com diversos cenários, e ressalta a importância da logística de contêineres vazios na programação da empresa.

SOUZA (2001) analisa os procedimentos operacionais de alocação de contêineres em relação às demandas e ao fluxo de informações de uma empresa de navegação. Foram criados três modelos de otimização distintos: um heurístico, seguindo as mesmas considerações do procedimento-padrão da empresa de navegação; um modelo guloso, que aloca a maior quantidade de contêineres possível nos arcos de menores custos; e um modelo de alocação utilizando o algoritmo *Out-of-Kilter*, desenvolvido inicialmente para resolver o problema do remanejamento de vagões vazios na linha ferroviária.

Na comparação dos custos envolvidos em cada modelo, o modelo guloso de alocação de contêineres vazios obteve o custo mínimo. O autor observa que é um modelo a ser refinado já que enxerga somente períodos subsequentes, ao invés do horizonte como um todo.

Com foco no nível operacional da ferramenta de apoio à decisão, ROBORTELLA e PINHEIRO (2007) desenvolveram um modelo baseado em COSTA (2006), no qual se utilizaram dados mais atualizados e uma discretização de tempo mais refinada, em semanas. Devido ao refinamento da discretização do tempo, alguns problemas computacionais

⁴ Esta rota contempla 5 portos em cada continente, em um ciclo de 12 meses.

ocorreram no decorrer do projeto, que demonstraram o limite de capacidade de processamento do *software* utilizado e a necessidade de computadores mais potentes para as simulações.

NOBRE (2006) abordou a gestão logística do contêiner vazio. Foi realizado um estudo de caso com quatro armadores, gerando resultados qualitativos que verificam a importância da gestão logística para a reformulação de estratégias de geração de receitas e custos.

O autor constatou que as receitas não são atreladas somente à venda e à realização de transportes, mas também à produtividade dos contêineres. Os armadores buscam a maior rotatividade de carga por contêiner em cada período.

1.4. Delineamento do Trabalho

Na Seção 2 é descrita a rota estudada neste trabalho, dando suas principais características e definindo os agentes do modelo. Em seguida é apresentado o modelo matemático de maneira sintética, definindo suas variáveis principais, dentre as quais é dada atenção à Margem de Contribuição, que é a Função Objetivo do modelo.

Na seção 3 são apresentados três cenários que foram testados utilizando o modelo com seus resultados analisados: Cenário Base, Alteração da Capacidade dos Navios e Alteração da Fração de Atendimento Máxima da Demanda

Na seção 4 é feita a conclusão do estudo, seguida da bibliografia na seção 5.

2. Descrição da Rota e Modelagem Matemática

Foi selecionada uma rota real Brasil – Europa, atendida pela empresa Hamburg Sud. Esta rota atende a 10 portos, em uma rota cíclica, com duas passagens pelo porto de Santos por ciclo. A unidade de discretização do tempo adotada foi uma semana (sete dias corridos). Nesta configuração do modelo, cada ciclo tem duração de 5 semanas e o horizonte de planejamento é composto por 48 semanas, porém, o algoritmo desenvolvido tem a flexibilidade para outras configurações e horizontes de planejamento.

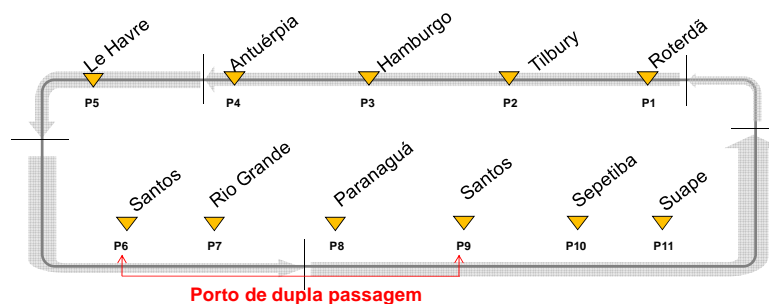


Figura 1: Portos contemplados pela rota Brasil - Europa estudada

Cada porto possui um estoque de contêineres cheios, cujo custo de armazenagem depende do tipo de contêiner, e um estoque de contêineres vazios limitada inicialmente a 1.000 TEU's⁵. Os portos possuem entidades denominadas clientes de importação e exportação, que representam, respectivamente, o destino dos contêineres desembarcados e a origem dos contêineres embarcados. Foi considerada uma taxa de retorno dos contêineres enviados e recebidos pelos portos de seus clientes de importação e exportação baseado nos dados de COSTA (2006).

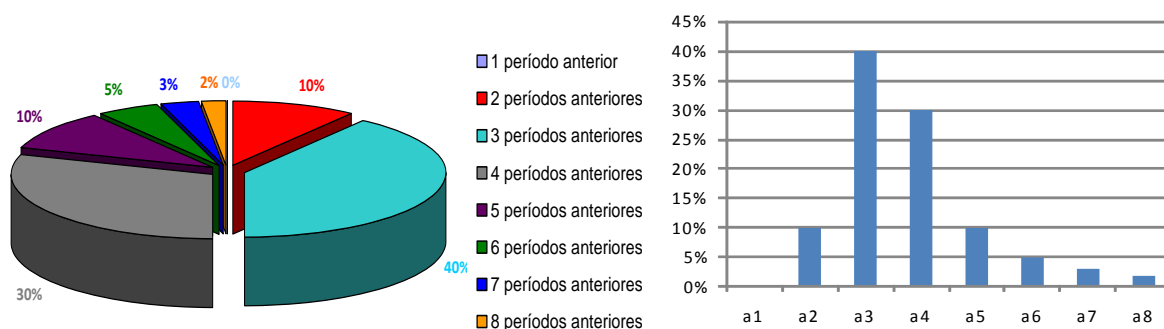


Figura 2: Taxas de retorno do contêiner enviado para desova ou estufagem

Com relação aos dados de entrada, utilizou-se a contribuição de ROBERTELLA e PINHEIRO (2007). Baseado neste trabalho foi identificada a demanda por transporte de cargas containerizadas e agregada por tipo de carga e seu respectivo arco de origem-destino. Não foi feita a distinção por tipo de clientes⁶. A fração de mercado possível de ser atendida pela empresa de navegação em questão pode variar entre 0 a 100%.

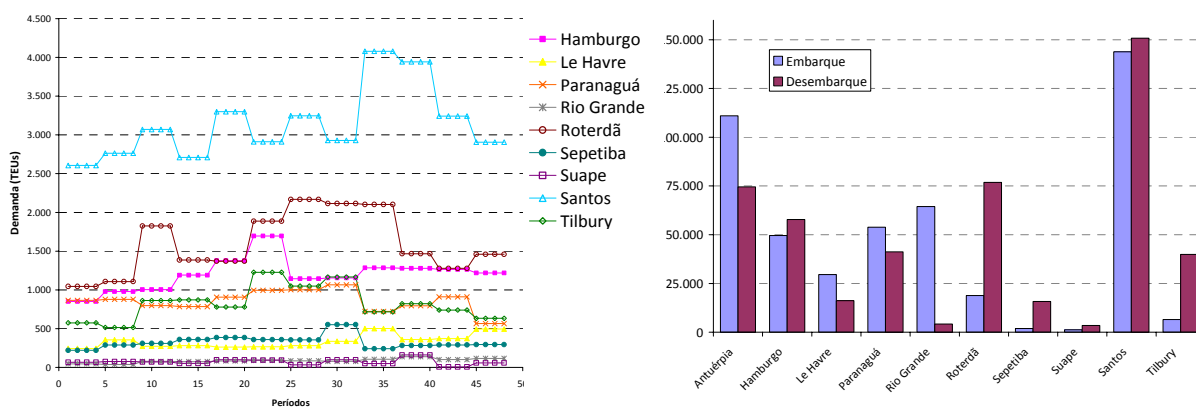


Figura 3: Perfil da demanda por transporte de cargas containerizadas

A frota de navios é composta por 5 unidades, com capacidade de 2.220 TEUs e 31.000t, limitada a 500 tomadas para contêineres refrigerados e 600 contêineres de 40 pés.

⁵ TEU (*twenty equivalent units*): unidade de medida de volume de contêiner. Refere-se ao volume de um contêiner de 20 pés.

⁶ Para uma mesma carga é possível haver vários clientes, como abordam ROBERTELLA e PINHEIRO (2007).

2.1. Modelo Matemático

O modelo matemático é composto por uma função objetivo, variáveis de decisão e auxiliares, restrições de capacidade e índices de desempenho.

| | |
|--------------------------|---|
| Função objetivo | Margem de Contribuição (MC) = Receita total (RT) – Custos variáveis totais (CV) |
| Variáveis de decisão | Fluxo de contêineres cheios (FC) e vazios (FV) movimentados |
| Variáveis auxiliares | <ul style="list-style-type: none"> Fluxo de movimentação de contêineres cheios provenientes do cliente de exportação (FCCE) Fluxo de movimentação de contêineres vazios do cliente de importação (FVCI) |
| Restrições de capacidade | <ul style="list-style-type: none"> Dos navios (tamanho tipo e peso dos contêineres) Dos estoques de contêineres vazios |
| Índices de desempenho | Taxa de ocupação dos navios, fração de mercado atendido, dimensão da frota de contêineres necessários, giro de contêineres |

Figura 4: Componentes do modelo matemático

A receita total é proveniente das tarifas de frete recolhidas pela empresa de navegação. Os custos variáveis totais referem-se à movimentação de embarque e desembarque dos contêineres nos portos e ao custo de estoque dos contêineres cheios⁷. Os custos fixos não foram considerados pelo fato de não influenciarem a seleção de cargas a serem transportadas nem o reposicionamento dos contêineres vazios.

3. Resultados

3.1. Cenário 1: Base

As cargas movimentadas no cenário base geraram uma receita total de aproximadamente 294 milhões de reais e um custo total de 62 milhões de reais, e uma margem de contribuição de 232 milhões. A frota de contêineres é definida em 34.741 unidades, onde o giro é de cerca de 4 vezes por período. É atendida 29% da demanda total por movimentação de contêineres e a ocupação média dos 5 navios é de 79%. Os resultados globais do cenário base são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Principais resultados do cenário base

| | |
|--|---------------------------|
| Receita Total (RT) | R\$ 294.372.645,42 |
| Custo total de movimentação do cont. cheio (CMCT) | R\$ 54.015.363,05 |
| Custo total de movimentação do cont. vazio (CMVT) | R\$ 8.222.484,33 |
| Custo total de estoque (CET) | R\$ 40.544,45 |
| Margem de contribuição (MC) | R\$ 232.094.253,59 |
| CMCT/RT | 18,35% |
| CMVT/RT | 2,79% |
| CET/RT | 0,01% |
| Movimentação de contêineres cheios | 138.349 |
| Movimentação de contêineres vazios | 31.701 |
| Movimentação total de contêineres | 170.050 |
| Fração de atendimento | 28,79% |
| Frota total | 34.741 |
| Número de vezes que um contêiner é utilizado para transporte | 4 |
| Ocupação dos navios | 79% |

⁷ O custo do estoque de contêineres vazios foi classificado como custo fixo, pois a quantidade de contêineres armazenados não influencia o custo de alocação da área, quando for o caso.

A fim de facilitar a análise dos resultados, foram classificados os pares de arcos⁸ (ida e volta) segundo a quantidade de contêineres movimentados.

Concentrando-se a análise nos 10 arcos de maiores fluxos de transporte (83% da movimentação total de contêineres cheios) percebe-se que o modelo seleciona a melhor combinação entre a demanda de retorno – mínimo da demanda entre os arcos origem-destino e destino-origem – e a demanda total no arco e o frete médio, como observa-se na Tabela 2.

Tabela 2: Pares de arcos que movimentam maior soma total de contêineres (em contêineres)

| # | Origem (Porto p _i) | Destino (Porto p _j) | Tipo de Contêiner | Movimentação de Cont. Cheios | Movimentação de Cont. Vazios | Movimentação Total | Demanda p _i ? p _j | Demanda de retorno p _j ? p _i | Demanda Total | Receita Total |
|---|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|---|--|---------------|----------------|
| 1 | Antuérpia | Santos | K20_D | 24.811 | 2.813 | 27.624 | 28.673 | 9.200 | 37.873 | R\$ 32.478.627 |
| 2 | Hamburgo | Santos | K20_D | 21.348 | 743 | 22.091 | 11.495 | 19.720 | 31.215 | R\$ 33.934.546 |
| 3 | Hamburgo | Santos | K40_D | 16.746 | 0 | 16.746 | 10.832 | 8.183 | 19.015 | R\$ 43.239.277 |
| 4 | Santos | Roterdã | K20_D | 13.190 | 0 | 13.190 | 13.123 | 4.123 | 17.246 | R\$ 25.332.160 |
| 5 | Antuérpia | Santos | K40_D | 10.197 | 0 | 10.197 | 32.784 | 10.210 | 42.994 | R\$ 25.202.632 |
| 6 | Santos | Roterdã | K20_R | 8.206 | 8.206 | 16.412 | 9.689 | 0 | 9.689 | R\$ 21.782.106 |
| 7 | Hamburgo | Paranaguá | K40_D | 6.247 | 0 | 6.247 | 6.405 | 4.800 | 11.205 | R\$ 15.550.144 |
| 8 | Santos | Roterdã | K40_D | 6.095 | 0 | 6.095 | 4.379 | 4.277 | 8.656 | R\$ 15.570.692 |
| 9 | Santos | Tilbury | K20_D | 4.580 | 0 | 4.580 | 4.265 | 884 | 5.149 | R\$ 10.707.935 |
| # | Paranaguá | Tilbury | K40_D | 3.780 | 0 | 3.780 | 3.924 | 1.317 | 5.241 | R\$ 13.563.366 |

O arco Hamburgo-Santos, para contêineres secos de 20 pés, apresenta maior quantidade de carga de retorno. Foram movimentados no total 22.091 contêineres neste arco, sendo 11.495 cheios no sentido Hamburgo - Santos. No sentido oposto, 9.853 cheios e 743 vazios. Toda a demanda de exportação do porto de Hamburgo com destino a Santos foi atendida, entretanto, no sentido oposto, aproximadamente 50% da demanda não foi transportada.

Tabela 3: Movimentação dos contêineres de 20 pés entre os portos de Hamburgo e Santos

| Origem | Destino | Tipo de Contêiner | Movimentação de Cont. Cheios (em cont.) | Movimentação de Cont. Vazios (em cont.) | Frete (por cont.) | Demanda (em cont.) | Receita |
|--------------|----------|-------------------|---|---|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Hamburgo | Santos | K20_D | 11.495 | 0 | R\$ 1.200 | 11.495 | R\$ 13.794.000 |
| Santos | Hamburgo | K20_D | 9.853 | 743 | R\$ 2.044 | 19.720 | R\$ 20.140.546 |
| TOTAL | | | 22.091 | | R\$ 1.536 | 31.215 | R\$ 33.934.546 |

A movimentação deste par de arcos gera uma receita total de 33,934 milhões de reais, tendo um frete médio de 1.590 reais por contêiner, atendendo a 68% de sua demanda total. Considerando todos os contêineres movimentados, inclusive os vazios, o frete médio deste arco, para contêineres de 20 pés seco, é de 1.536 reais por contêiner.

⁸ Arco, na acepção adotada neste trabalho, representa qualquer par de portos, onde pode existir transporte, seja de cargas, ou de contêineres vazios para reposicionamento.

Toda a demanda de exportação no sentido Hamburgo-Santos é atendida. O frete médio⁹ das cargas transportadas em contêineres secos de 20 pés é de 1.200 reais por contêiner.

Tabela 4: Movimentação de contêineres de 20 pés do porto de Hamburgo a Santos

| Origem | Destino | Carga | Movimentação de Cont. Cheios (em cont.) | Frete (por cont.) | Demanda (em cont.) | Receita |
|--------------|---------|------------|---|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Hamburgo | Santos | C_87_K20_D | 2.191 | R\$ 1.200 | 2.191 | R\$ 2.629.440 |
| Hamburgo | Santos | C_84_K20_D | 1.701 | R\$ 1.200 | 1.701 | R\$ 2.040.720 |
| Hamburgo | Santos | C_00_K20_D | 1.197 | R\$ 1.200 | 1.197 | R\$ 1.436.160 |
| Hamburgo | Santos | C_48_K20_D | 1.186 | R\$ 1.200 | 1.186 | R\$ 1.422.960 |
| Hamburgo | Santos | C_28_K20_D | 1.005 | R\$ 1.200 | 1.005 | R\$ 1.206.480 |
| Hamburgo | Santos | C_29_K20_D | 939 | R\$ 1.200 | 939 | R\$ 1.127.280 |
| Hamburgo | Santos | C_39_K20_D | 906 | R\$ 1.200 | 906 | R\$ 1.087.680 |
| Hamburgo | Santos | C_76_K20_D | 827 | R\$ 1.200 | 827 | R\$ 992.640 |
| Hamburgo | Santos | C_72_K20_D | 521 | R\$ 1.200 | 521 | R\$ 625.680 |
| Hamburgo | Santos | C_38_K20_D | 431 | R\$ 1.200 | 431 | R\$ 517.440 |
| Hamburgo | Santos | C_85_K20_D | 295 | R\$ 1.200 | 295 | R\$ 353.760 |
| Hamburgo | Santos | C_70_K20_D | 295 | R\$ 1.200 | 295 | R\$ 353.760 |
| TOTAL | | | 11.495 | R\$ 1.200 | 11.495 | R\$ 13.794.000 |

Como a demanda de Santos para Hamburgo não é totalmente atendida, algumas cargas deixam de ser transportadas, como a carga C_09. Esta tem 40% da sua demanda (6.814 contêineres), pois é a carga de menor frete dentre as cargas de mesma origem e destino.

Tabela 5: Movimentação de contêineres de 20 pés do porto de Santos para Hamburgo

| Origem | Destino | Carga | Movimentação de Cont. Cheios (em cont.) | Frete (por cont.) | Demanda (em cont.) | Receita |
|--------------|----------|------------|---|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Santos | Hamburgo | C_09_K20_D | 6814 | R\$ 1.912 | 16.682 | R\$ 13.028.909 |
| Santos | Hamburgo | C_84_K20_D | 1183 | R\$ 2.686 | 1.183 | R\$ 3.176.356 |
| Santos | Hamburgo | C_05_K20_D | 662 | R\$ 1.999 | 662 | R\$ 1.324.058 |
| Santos | Hamburgo | C_87_K20_D | 451 | R\$ 1.992 | 451 | R\$ 898.631 |
| Santos | Hamburgo | C_29_K20_D | 404 | R\$ 2.184 | 404 | R\$ 881.899 |
| Santos | Hamburgo | C_17_K20_D | 339 | R\$ 2.451 | 339 | R\$ 830.693 |
| TOTAL | | | 9853 | R\$ 2.044 | 19720 | R\$ 20.140.546 |

São poucos os arcos que movimentam contêineres vazios, neste cenário. Dos 10 arcos com maior movimentação, além de Hamburgo-Santos, há mais 2 arcos: Antuérpia-Santos (2.813 contêineres secos de 20 pés) e Santos-Roterdã (8.207 contêineres refrigerados de 20 pés).

O arco Antuérpia-Santos possui grande fluxo de vazios no sentido de Santos para Antuérpia, cuja demanda total para movimentação de cheios é de 9.200 contêineres enquanto a demanda no sentido oposto é de 28.673 contêineres, ou seja, mais de três vezes superior.

Antuérpia envia 17.702 contêineres cheios do tipo seco de 20 pés a Santos, que consegue retornar 7.109 contêineres cheios e 2.813 vazios. O restante dos contêineres que Antuérpia precisa para a estufagem de sua carga é proveniente de Roterdã (4.712), Tilbury (2.308),

⁹ Frete médio – é a relação entre receita total adquirida e a quantidade de contêineres transportados no arco em questão.

Paranaguá (1.491) e Sepetiba (129), que são utilizados principalmente para embarcar carga para Santos. Os 860 contêineres remanescentes são enviados a Rio Grande (672) e Sepetiba (188), fechando o balanço de embarque e desembarque no porto.

Tabela 6: Movimentação de contêineres vazios para o porto de Antuérpia

| Origem | Destino | Movimentação de Cont. Cheios (em cont.) | Movimentação de Cont. Vazios (em cont.) |
|---------------------------|------------|---|---|
| Antuérpia | Santos | 17.702 | 0 |
| | Rio Grande | 672 | 0 |
| | Sepetiba | 188 | 0 |
| Total embarcado | | 18.562 | |
| Santos | Antuérpia | 7.109 | 2.813 |
| Roterdã | | 0 | 4712 |
| Tilbury | | 0 | 2.308 |
| Paranaguá | | 0 | 1.491 |
| Sepetiba | | 0 | 129 |
| Total desembarcado | | 18.562 | |

O arco Santos-Roterdã movimenta 8.206 contêineres vazios do tipo refrigerado de 20 pés no sentido Europa-Brasil, por não haver demanda de movimentação de carga neste sentido. Santos envia os 8.206 contêineres refrigerados a Roterdã, pois o frete médio das cargas nesta operação é um dos maiores da rota (2.654 reais/contêiner), o que justifica a movimentação de vazio posteriormente. O transporte desta rota, para este tipo de contêiner, produz receita de 21,782 milhões de reais. Esta movimentação atende a 84% da demanda de contêineres refrigerados de 20 pés neste arco.

Ao analisar estes resultados, verifica-se a consistência na escolha das cargas a serem movimentadas. Além do cenário base, foram simulados outros cenários, com alteração de características (parâmetros) da rota. Os cenários cujos resultados foram mais relevantes são apresentados a seguir.

3.2. Cenário 2: Alteração da Capacidade do Navio

Este cenário analisa a influência da diminuição da capacidade do navio na seleção das cargas movimentadas. A capacidade dos navios foi diminuída em 20%, resultando em navios com 1.776 TEUs, capacidade de volume de 24.800t, 400 tomadas para contêineres refrigerados e limitação de 480 contêineres de 40 pés.

Resultados

A quantidade de cargas transportadas diminuiu em relação ao cenário base. Houve uma redução de 33.112 contêineres (cerca de 19,5%) na movimentação total de contêineres, como mostra a

Tabela 7.

Tabela 7: Comparação dos resultados globais do cenário 2 com o cenário base

| | Cenário-base | Cenário 2 | Diferença |
|---|---------------------------|---------------------------|----------------|
| Receita Total (RT) | R\$ 294.372.645,42 | R\$ 245.334.929,56 | -16,66% |
| Custo total de movimentação do cont. cheio (CMCT) | R\$ 54.015.363,05 | R\$ 44.042.575,73 | -18,46% |
| Custo total de movimentação do cont. vazio (CMVT) | R\$ 8.222.484,33 | R\$ 6.576.156,27 | -20,02% |
| Custo total de estoque (CET) | R\$ 40.544,45 | R\$ 31.885,80 | -21,36% |
| Margem de contribuição (MC) | R\$ 232.094.253,59 | R\$ 194.684.311,75 | -16,12% |
| CMCT/RT | 18,35% | 17,95% | -0,40% |
| CMVT/RT | 2,79% | 2,68% | -0,11% |
| CET/RT | 0,01% | 0,01% | 0,00% |
| Movimentação de contêineres cheios | 138.349 | 111.885 | -19,13% |
| Movimentação de contêineres vazios | 31.701 | 25.053 | -20,97% |
| Movimentação total de contêineres | 170.050 | 136.938 | -19,47% |
| Fração de atendimento | 28,79% | 23,28% | -5,51% |
| Frota total | 34.741 | 28.598 | -17,68% |
| Número de vezes que um contêiner é utilizado | 3,98 | 3,91 | -1,76% |
| Ocupação dos navios | 79% | 79% | 0,00% |

Ao impor as novas restrições de capacidade do navio, o modelo responde diminuindo a movimentação de contêineres cheios e vazios em cada porto, conforme ilustra a Figura 5, e a quantidade total da frota de contêineres.

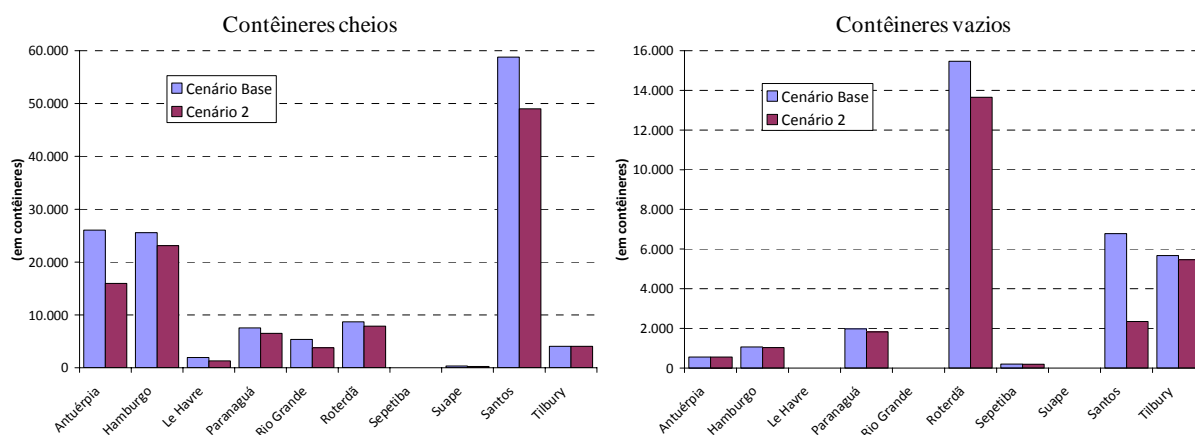


Figura 5: Quantidade total de contêineres cheios (esquerda) e vazios (direita) enviados por cada porto

No par de arcos Antuérpia-Santos, observa-se a maior queda na movimentação de contêineres cheios e vazios em relação ao cenário base. Houve a redução de 36.345 contêineres cheios para 22.337 contêineres, atendendo cerca de 27,4% da demanda total deste par de arcos. Em relação aos contêineres vazios, a movimentação diminuiu em 69%.

A explicação para este comportamento se deve aos valores do frete neste par de arcos, que são menores em relação aos outros arcos com demanda alta. O modelo reduz a quantidade transportada entre Antuérpia e Santos e mantém a mesma quantidade transportada entre outros portos com relação ao cenário base. Há substituição de alguns arco-carga de menor fluxo por outros, de modo a minimizar o impacto da redução da capacidade do navio.

O perfil dos 10 maiores arcos e cargas, em termos que volume movimentado, se mantém em relação ao cenário base.

3.3. Cenário 3: Alteração da Fração Máxima de Atendimento

Este cenário analisa a influência da redução da fração máxima de atendimento na seleção das cargas transportadas. O limite máximo da fração de atendimento, antes 100%, foi alterado pra valores reais do mercado, conforme o tipo de carga e porto de embarque, com base no trabalho de COSTA (2006).

Resultados

Houve diminuição da quantidade das cargas de maior frete devido às restrições de fração de atendimento, possibilitando o aumento do transporte de outros arcos e cargas ausentes na seleção do cenário base. Os resultados globais são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Comparação dos resultados globais do cenário 3 com o cenário base

| | Cenário-base | Cenário 3 | Diferença |
|---|---------------------------|---------------------------|----------------|
| Receita Total (RT) | R\$ 294.372.645,42 | R\$ 218.838.968,82 | -25,66% |
| Custo total de movimentação do cont. cheio (CMCT) | R\$ 54.015.363,05 | R\$ 40.014.041,13 | -25,92% |
| Custo total de movimentação do cont. vazio (CMVT) | R\$ 8.222.484,33 | R\$ 9.853.353,68 | 19,83% |
| Custo total de estoque (CET) | R\$ 40.544,45 | R\$ 43.258,93 | 6,70% |
| Margem de contribuição (MC) | R\$ 232.094.253,59 | R\$ 168.928.315,08 | -27,22% |
| CMCT/RT | 18,35% | 18,28% | -0,06% |
| CMVT/RT | 2,79% | 4,50% | 1,71% |
| CET/RT | 0,01% | 0,02% | 0,01% |
| Movimentação de contêineres cheios | 138.349 | 99.546 | -28,05% |
| Movimentação de contêineres vazios | 31.701 | 37.590 | 18,57% |
| Movimentação total de contêineres | 170.050 | 137.136 | -19,36% |
| Fração de atendimento | 28,79% | 20,71% | -8,07% |
| Frota total | 34.741 | 24.850 | -28,47% |
| Número de vezes que um contêiner é utilizado | 3,98 | 4,01 | 0,59% |
| Ocupação dos navios | 79% | 69% | -14,49% |

Os arcos e cargas que tiveram suas demandas completamente atendidas no cenário base mantiveram o limite máximo de atendimento, conforme a fração de atendimento atribuída.

Tomando como exemplo a carga C_29 em contêineres de 20 pés, observa-se que o transporte entre os arcos apresentados na Tabela 9 tinham 100% de suas demandas atendidas no cenário base. Nos mesmos trechos, após a alteração da fração de atendimento, conservam-se os níveis máximos de atendimento.

Tabela 9: Arcos que possuem a fração máxima de atendimento da demanda atendida

| Origem | Destino | Carga | Cenário Base | | Cenário 3 | |
|-----------|------------|------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| | | | Fração máxima de atendimento | Resposta do modelo | Fração máxima de atendimento | Resposta do modelo |
| Santos | Hamburgo | C_29_K20_D | 100% | 100% | 22,80% | 22,8% |
| Antuérpia | Rio Grande | C_29_K20_D | 100% | 100% | 41,90% | 41,9% |
| Santos | Roterdã | C_29_K20_D | 100% | 100% | 22,80% | 22,8% |
| Hamburgo | Santos | C_29_K20_D | 100% | 100% | 30,90% | 30,9% |
| Roterdã | Santos | C_29_K20_D | 100% | 100% | 18,70% | 18,7% |
| Tilbury | Santos | C_29_K20_D | 100% | 100% | 45,20% | 45,2% |

O transporte das cargas de maior frete foi limitado, possibilitando a movimentação de outros tipos de cargas e arcos. No geral, houve o acréscimo de 43 arcos e cargas transportadas, porém a quantidade de contêineres cheios transportados foi inferior ao cenário base devido à limitação de atendimento.

Houve mudança significativa na movimentação de contêineres vazios. O desbalanceamento entre quantidade de contêineres embarcados e desembarcados e, conseqüentemente, a necessidade de reposicionamento de contêineres vazios aumentou.

Como os volumes de carga entre cada par de arcos foram rearranjados conforme a fração máxima estabelecida, o perfil dos 10 maiores arcos e cargas também foi alterado. Entretanto, a melhor combinação entre a demanda de retorno e a demanda total no arco e frete médio ainda é selecionada.

4. Conclusões

A realocação de contêineres é uma necessidade intrínseca ao transporte marítimo de cargas containerizadas.

Nos diversos cenários estudados, a realocação de contêineres vazios oscilou entre 20% e 30% aproximadamente da movimentação total de contêineres¹⁰. Entretanto, os custos de movimentação de contêineres vazios representaram, em média, de 3% a 4% da receita total recolhida no horizonte de planejamento. A escolha das cargas transportadas foi ponderada pelo custo e necessidade de realocação de contêineres vazios, durante todo o horizonte de planejamento.

Os cenários que tiveram maior impacto sobre a frota total de contêineres no período de simulação foram o de limitação da fração máxima de atendimento e de alteração da capacidade do navio. Ambos os cenários apresentaram uma brusca queda na margem de contribuição, devido à limitação no transporte das cargas com maior frete.

O modelo matemático é uma ferramenta de apoio para o planejamento tático de uma empresa de navegação. Através do estudo de diferentes cenários é possível obter aproximações razoáveis de importantes valores, tais como frota total de contêineres, giro por contêineres, taxa de ocupação dos navios e, principalmente, a ordenação da demanda de cargas que traz maior margem de contribuição à empresa.

¹⁰ Esta movimentação considera apenas o embarque e desembarque de contêineres nos navios. Não envolve o transporte terrestre entre porto e cliente de exportação e importação.

É importante ressaltar que a aderência dos resultados de seleção de cargas depende, em essência, dos dados de entrada do programa e, principalmente, da determinação da demanda por transporte via contêineres. Um estudo de mercado bem fundamentado, juntamente com dados operacionais reais e atualizados deve produzir uma boa base de informação para auxiliar o planejamento tático de uma empresa de navegação.

5. Referências Bibliográficas

- ANTAQ – Agência Nacional de Transporte Aquaviário, Anuário Estatístico Portuário, 2006.
- Barco, B. L. *A logística do contêiner vazio* Departamento de Engenharia Naval. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.
- Costa, G. A. A. *Modelo de margem de contribuição aplicado ao planejamento de marketing no transporte marítimo regular de contêineres*. Departamento de Engenharia Naval. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- Nobre, M. *A gestão logística do contêiner vazio*. Departamento de Gestão de Negócios. Universidade Católica de Santos. Santos, 2006.
- Rezende, L. B. *A logística do contêiner vazio, uma nova abordagem*. Departamento de Engenharia Naval. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
- Robortella, M. S. e Pinheiro, S. V. L. P *Modelo Matemático para Suporte à Decisão de Escolha de Clientes no Transporte Marítimo Regular de Contêineres*. Departamento de Engenharia Naval. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- Souza, F. C. G. *Procedimentos para alocação de contêineres vazios no transporte marítimo*. Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.
- UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. Handbook of Statistic On-line, 2007.