

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA**

Rafael Suman Tassi

**Estudo do fluxo de contêineres entre portos: o desafio da busca pelo equilíbrio entre
contêineres estufados e vazios**

Botucatu-SP
Junho – 2013

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM LOGÍSTICA**

RAFAEL SUMAN TASSI

**ESTUDO DO FLUXO DE CONTÊINERES ENTRE PORTOS: O DESAFIO DA
BUSCA PELO EQUILÍBRIO ENTRE CONTÊINERES ESTIVADOS E VAZIOS**

Orientador: Prof. Dr. Luís Fernando Nicolosi Bravin

Projeto de Conclusão de Curso apresentado à
FATEC - Faculdade de Tecnologia de
Botucatu, para obtenção do título de
Tecnólogo no Curso Superior de Logística.

Botucatu-SP
Junho – 2013

RESUMO

A atual demanda por cargas faz com que o contêiner desempenhe uma função fundamental nos processos de transporte e armazenagem de curto período em portos. Entretanto, nota-se que a equação entre oferta e demanda não é equilibrada, gerando um saldo negativo, com maior quantidade de contêineres vazios, fazendo com que as transportadoras tenham gastos extras na realocação dos mesmos onde eles fazem-se necessários. O presente trabalho objetiva analisar um modelo que possibilite melhor eficiência logística no uso dessas embalagens unitizadoras.

PALAVRAS-CHAVE: Contêiner. Fluxo. Equilíbrio.

SUMÁRIO

	Página
SUMÁRIO	iv
1 INTRODUÇÃO	4
1.1 Objetivo	6
1.2 Justificativa e relevância do texto	6
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 Histórico do Contêiner	7
2.2 Transporte containerizado	12
2.3 Modelos de Alocação de contêineres vazios	15
2.4 As Entidades Envolvidas	16
2.4.1 RESTRICÇÕES OPERACIONAIS.....	18
2.4.2 CUSTOS	18
2.5 TRABALHOS ANTERIORES.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Material.....	23
3.2 Métodos	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5 CONCLUSÕES	32
6 REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Observa-se, a partir de 1956, o salto na utilização do contêiner como forma necessária no transporte de cargas, quando começou a ser utilizado em navios mistos na costa oeste dos E.U.A. Naquela época, percebeu-se que a rapidez de carga e descarga do navio e a facilidade da transferência de um modal de transporte para outro eram algumas das vantagens do contêiner (BARCO, 1998).

Outras vantagens foram percebidas, tais como proteção da carga 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 à melhora na eficácia dos navios, novos dimensionamentos e à redução considerável do tempo no porto. Até aquele momento, o tamanho dos contêineres não era padronizado.

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.

Com os anos, tem-se observado o crescimento acelerado no volume relativo de carga geral transportada em contêineres. O remanejamento de contêineres para sucessivas reutilizações faz-se necessário, por se tratar de embalagem cara e não descartável. Por essa razão, percebe-se o desbalanceamento entre contêineres estivados e vazios, exigindo que empresas tenham custos extras no transporte dos mesmos de um porto a outro, numa tentativa infinita de igualar a equação.

A partir da década de 90, com a globalização da economia mundial, a containerização do comércio naval tem sido ainda mais intensificada (Cheung e Chen, 1998). Entretanto, o comércio internacional é tipicamente desequilibrado: algumas áreas são predominantemente

de importação e outras, de exportação. Esse desequilíbrio cria certos desafios logísticos no gerenciamento de contêineres vazios (Lai, Lam e Chan, 1995).

Como, em um porto específico, o número de contêineres descarregados e carregados em um navio pode ser totalmente diferente, os operadores das linhas de navegação freqüentemente precisam redistribuir seus contêineres vazios ou arrendar contêineres de companhias de leasing a fim de atender à demanda dos clientes. Todavia, a disponibilidade de contêineres é sujeita a vários parâmetros de incerteza, incluindo a demanda nos portos, o tempo de retorno de contêineres dos clientes consignadores e a capacidade do navio para contêineres vazios. Em face dessas incertezas, os operadores tendem a operar de modo conservador (Cheung e Chen, 1998), trazendo sérias conseqüências econômicas para as regiões envolvidas no comércio internacional. De fato, recentes publicações na mídia de massa atestam o problema que algumas regiões brasileiras vêm enfrentando recentemente pela falta de contêineres (Caus, 2004; Ertel, 2004; Melo, 2004; Patury, 2004; Torma, 2004; Torma e Melo, 2004; Veja, 2004).

As companhias navais competem no mundo inteiro pelo fornecimento de serviços de transporte em contêineres (Lai, Lam e Chan, 1995). Desta forma, as empresas precisam melhorar o atendimento ao cliente e ao mesmo tempo reduzir seus custos para se tornarem mais competitivas e lucrativas. A margem de lucro das companhias pode ser incrementada controlando e reduzindo suas despesas ou respondendo de forma ágil às demandas dos clientes. Um componente importante do custo operacional total de uma companhia de navegação é decorrente da realocação de contêineres vazios entre vários portos. Em função disso, é de vital importância haver uma política adequada para gerenciar a movimentação dos contêineres. Para ser mais eficiente, a companhia precisa também encontrar maneiras de evitar que negócios deixem de ser contratados devido à indisponibilidade de contêineres vazios quando requisitados pelos clientes (Lai, Lam e Chan, 1995).

Este estudo procurou mapear a situação problemática atual, apresentando alguns trabalhos anteriores com suas propostas de solução. Cabe salientar que não foram encontrados muitos trabalhos de pesquisa na área de gerenciamento de contêineres vazios, fato registrado por diversos autores (Dejax e Crainic, 1987; Crainic, Gendreau e Dejax, 1993; Lai, Lam e Chan, 1995; Choong, Cole e Kutanoglu, 2002; Fleischmann et al., 1997).

1.1 OBJETIVO

O objetivo desse projeto é analisar um modelo de planejamento logístico proposto (Bandeira, 2005) para auxiliar a empresa de navegação a tomar decisões referentes à realocação de contêineres vazios, reposicionando os excessos de oferta ou de demanda de contêineres vazios, de cada tipo, nos portos da rota, levando em consideração a minimização dos custos envolvidos bem como o pronto atendimento aos clientes, de forma a otimizar métodos atualmente utilizados. O trabalho apresentado utiliza técnicas de pesquisa operacional, mais especificamente um modelo de transbordo estático, com a inclusão de procedimentos heurísticos para escalonamento e integração dinâmica dos fluxos de contêineres estivados e vazios.

1.2 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEXTO

O presente projeto faz-se importante em virtude, justamente, dos encargos que se acumulam às empresas transportadoras de contêineres em razão da realocação dos mesmos em portos diferentes sem que, nesse processo, lucro seja produzido. O desenvolvimento de tal modelo poderia facilitar as operações, reduzir custos e, por fim, tornar o transporte de cargas mais sustentável ecologicamente, uma vez que poderia eliminar uma etapa do transporte – que gera emissões de poluentes no meio ambiente.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DO CONTÊINER

Apesar de ter suas origens no final do século XVIII, a padronização global de contêineres e de seus equipamentos de manipulação foi uma das mais importantes inovações do século XX.

O uso do contêiner para o transporte de cargas se iniciou em 1920, quando as três principais linhas ferroviárias norte-americanas desenvolveram seu uso em seus sistemas. Em 1931, a Comissão de Comércio Interestadual dos Estados Unidos regulamentou as tarifas e os conceitos básicos e econômicos sobre o uso de contêineres. Em 1950, o exército dos Estados Unidos desenvolveu o seu próprio contêiner, o CONEX (*Container Express Service*), em dimensões de 8'x6'x5', para o transporte de suprimentos e armamentos leves.

Em janeiro de 1955, houve a maior propulsão na utilização de contêineres para o transporte de mercadorias (sistema intermodal). Na cidade de Mobile, Alabama – EUA, estabeleceu-se a Sea Land Services Inc., uma companhia de navegação que adquiriu 37 navios para serviços exclusivos com contêineres de maiores dimensões e capacidade de peso, ou seja, 35'x8'x8'.

O crescente aumento do número de contêineres movimentados entre a América do Norte e a Europa e um estudo especial da Associação de Normas Americanas provocaram a

formação, em 1958, do Comitê MH5, conhecido pela sigla ASA-MH5 (comitê sobre manuseio de materiais) para regulamentar o tráfego de contêineres na América do Norte.

Com a utilização cada vez maior de contêineres, sentiu-se a necessidade de que fossem fixadas especificações para a normatização de tamanhos, medidas e equipamentos auxiliares. Assim, no manuseio nos portos, nos pátios de armazenamento e nas remoções, os meios de transporte (semi-reboque, vagão ferroviário e navio) e os equipamentos utilizados para manuseio, possuem características que possibilitassem o melhor e o maior aproveitamento. Esta padronização também evita a fabricação e aquisição de equipamentos e contêineres dos mais diversos tipos e tamanhos, o que demandaria investimentos desnecessários e dificultaria a operação.

Assim, nessa época, o pensamento na Europa e nos Estados Unidos era o mesmo, motivo pelo qual a *International Standard Organization* (ISO) formou o Comitê ISO-MH5 para manuseio de materiais, que recomendou unidades de 8'x8' (altura x largura) e comprimentos uniformes de 10', 20', 30' e 40 pés.

Santos foi o primeiro porto sul-americano a receber contêineres, trazidos pela empresa norte-americana Moore McCormack Lines, Inc. em 1965, a bordo de seu navio Mormacdawn. Eram dois contêineres de alumínio, de seis metros de comprimento por 2,44 de altura e 2,44 de largura. Com o êxito desse novo modal, logo os navios tiveram de sofrer adaptações, até que surgiram os porta-contêineres, destinados exclusivamente ao transporte de carga geral containerizada, que inicialmente carregavam 226 unidades

Embora existam diversos tipos de comprimento de contêineres, a maioria é de 20 ou de 40 pés e, para fins de estimativa ou de estatísticas, usa-se o termo TEU (*Twenty Foot Equivalent Units*), pelo qual cada contêiner de 40 pés é contado como equivalente a dois contêineres de 20 pés.

A utilização de contêineres para o transporte de mercadorias, apesar de necessitar de um investimento inicial alto para a aquisição de equipamentos, apresenta um custo logístico significativamente menor do que o transporte tradicional. Isto em função de uma maior rapidez no embarque e desembarque dos navios, trens ou caminhões, melhorando a utilização dos ativos principalmente nos momentos de transbordo, como dos navios para os portos e destes para os caminhões ou trens (Nilsson, 2002). A utilização do contêiner permitiu uma maior racionalização econômica através da simplificação do processo de manuseio e transporte de cargas de diferentes tamanhos, pesos e volumes, possibilitando a utilização de

dois ou mais modais diferentes de transporte entre origem e destino, através da escolha adequada melhor conjunto (relação custo x tempo).

A maior parte das cargas transportadas por contêiner é de mercadorias manufaturadas ou semimanufaturadas, que requerem um cuidado adicional na sua movimentação, diferentemente do que ocorre com cargas a granel, por exemplo. No entanto, também se têm verificado o aumento do transporte de alguns tipos de carga como café, açúcar, arroz etc., em contêineres.

O crescimento do transporte via contêineres também teve impacto significativo no aumento do número de terminais dedicados a operar este tipo de carga. De acordo com levantamentos mais recentes (Fonte: Docenave), a movimentação de contêineres no mundo cresceu 168% entre 1995 e 2005, quando atingiu 377 milhões de TEUS, enquanto o comércio mundial, no mesmo período, cresceu 101%.

Verificou-se também que o transporte de mercadorias via contêineres tem crescido a taxas superiores ao crescimento do comércio internacional, evidenciando a importância cada vez maior deste tipo de transporte dentro da estratégia logística das empresas.

Com este crescimento significativo do transporte intermodal nos últimos anos, as vantagens da sua utilização se tornam cada vez mais claras pela facilidade e liberdade da troca do equipamento entre os diversos modais. Além disso, a segurança contra vandalismo proporcionada pelo contêiner e, conseqüentemente, um menor custo de seguro são vantagens adicionais ao seu uso.

Dentre os fatores tidos como críticos de sucesso para o negócio de movimentação de contêineres podemos citar:

- Flexibilidade
Capacidade de adaptação às necessidades do mercado para diversos tipos de cargas.
- Intermodalidade
Possibilidade de utilização de vários modais com baixos tempos de transbordo da carga.
- Segurança da carga
Baixo nível de faltas e avarias nas cargas transportadas.
- Rastreabilidade
Manutenção da qualidade, através da rastreabilidade do contêiner com identificação única.

No Brasil, um país de dimensões continentais e onde a maior parte da atividade econômica produtiva está concentrada em cidades próximas à costa brasileira, há uma condição natural para o favorecimento do transporte de cargas de longa distância via modal marítimo. Apesar destas vantagens competitivas do transporte de contêineres por via marítima e do recente aumento no volume movimentado, a participação deste modal na matriz de transporte brasileira é de menos de 1% do total.

As principais cadeias de produtos transportados são as seguintes:

- Sul/Sudeste para o Norte/Nordeste: gêneros alimentícios, produtos químicos, materiais de construção, partes e peças, têxteis, higiene e limpeza, carga refrigerada, resinas e outros.
- Norte/Nordeste para o Sul/Sudeste: eletrodomésticos, eletro-eletrônicos, minérios, resinas plásticas, produtos petroquímicos, embalagens, sal, sucata, produtos siderúrgicos e outros.

No caso de empresas de transporte marítimo, estas oferecem adicionalmente serviços acessórios (transporte de ponta, armazenagem e outros) para cargas containerizadas, o que possibilita vantagens ao cliente (passa a tratar com menos fornecedores para sua logística) e para este provedor do serviço (ganha escala com a contratação de um volume movimentado). No caso de algumas empresas, o serviço “porta-a-porta” responde por aproximadamente 70% da movimentação total.

Atualmente, a carteira de clientes das empresas prestadoras deste tipo de serviço é composta por milhares de empresas, onde é comum 10% dos clientes representarem 80% do faturamento. Estes clientes representam diversos setores da economia como: alimentos, químico e petroquímico, eletro-eletrônico e siderúrgico. É grande a variedade de clientes, desde grandes corporações, como o Grupo Gerdau, a Organização Odebrecht, a CSN, Multibrás, Gessy Lever e Sadia, até pequenos varejos como lojas de material de construção (Cuocco, 2008).

Como clientes consideram-se todos aqueles cuja cadeia de distribuição logística envolva a transferência de produtos (matéria-prima ou acabados) entre distâncias onde os serviços sejam competitivos levando-se em consideração os custos e tempo de transporte.

Porém, apesar de todas as vantagens aqui mencionadas sobre o transporte de carga containerizada, existe uma desvantagem importante da utilização de contêineres inerente ao

seu modo de operação, que é o fato de que, na grande maioria das vezes, não existe um balanceamento entre os fluxos de transporte de carga (Schen, 1995).

Assim, nos portos e terminais, o saldo entre as entradas e saídas de contêineres raramente é equilibrado, gerando um estoque com uma quantidade de contêineres vazios maior que a necessidade (chegam mais contêineres do que saem) ou a sua falta (saem mais contêineres do que chegam). A única maneira de se reequilibrar o sistema é através do reposicionamento dos contêineres dos pontos de superávit para os pontos onde existe um déficit, uma operação que representa um custo operacional significativo, uma vez que não gera receita, além de ocupar uma parte da capacidade de transporte. Este reposicionamento pode ser feito via modais rodoviário, ferroviário ou marítimo, conforme a melhor opção.

Visto de uma maneira mais ampla, o problema do transporte de contêineres apresentado possui outra variável a ser otimizada que deve ser analisada sob uma ótica conjunta com o problema de reposicionamento dos contêineres vazios. Esta variável é a lucratividade do negócio que é afetada em grande parte pelo preço do frete cobrado ao cliente, que varia em função do nível de oferta versus a demanda de mercado, e do preço praticado pelos demais competidores. A competitividade deste modal é definida pela oferta dos serviços de transporte a preços mais competitivos do que seu maior concorrente, o modal rodoviário, sendo que outros aspectos importantes de diferenciação de seu serviço são a segurança e a integridade da carga. Vale lembrar, entretanto, que os clientes levam em consideração o *transit-time* total para o transporte da carga e, neste quesito, o modal rodoviário se mostra mais eficiente do que a cabotagem.

Conforme relatado na introdução deste trabalho, a padronização das cargas em contêineres trouxe inúmeras vantagens sob o ponto de vista econômico e de segurança. Entretanto, essa evolução elevou, de forma considerável, o volume de cargas em trânsito em todas as modalidades de transporte. Por sua vez, esse excesso de volume acarretou a necessidade de obter formas eficientes de integração dos diversos tipos de transporte, e de otimizar a distribuição dos contêineres, tanto estivados como vazios, nas redes de transporte. Embora contêineres estivados tenham prioridade de alocação, contêineres vazios não podem ficar parados, pois são necessários para novos carregamentos.

O problema da alocação dinâmica de contêineres vazios consiste em realocar contêineres disponíveis e em determinar a quantidade que deve ser arrendada, a fim de atender a demanda de clientes, dentro de um determinado período de tempo (Cheung e Chen, 1998).

No caso das companhias navais marítimas internacionais, esse problema ocorre no contexto do gerenciamento da distribuição em terra e das operações de transporte. Envolve despachar contêineres vazios de vários tipos em resposta a requisições de clientes de exportação e reposicionar outros contêineres em depósitos ou portos para armazenagem, em antecipação a demandas futuras (Crainic, Gendreau e Dejax, 1993).

Na medida em que o faturamento do transporte é realizado nos contêineres estivados, é natural que estes contêineres sejam tratados com prioridade em relação aos vazios. Diferentemente dos contêineres vazios, os estivados possuem origem e destino fixos, e é raro que um operador rejeite contêineres estivados. Choong, Cole e Kutanoglu (2002) comentam que o interesse dos administradores logísticos é tão concentrado no transporte de contêineres estivados, que eles prefeririam ignorar os contêineres vazios completamente, o que não é possível porque as redes do mundo real requerem contêineres vazios para balanceamento dos fluxos. Se os fluxos de contêineres vazios não forem gerenciados cuidadosamente, toda a rede operará de forma ineficiente.

O problema de movimentação de contêineres estivados pode ser tratado como um simples modelo de transbordo. Isto é, definidos a origem e o destino, o problema é encontrar a rota mais conveniente (a de menor custo ou a de menor tempo) ligando esses dois pontos. Já o problema de movimentação de contêineres vazios é bem mais complexo, pois envolve, além da movimentação propriamente dita (que pode ser tratada como um problema de transbordo), a alocação dinâmica dos contêineres vazios para pontos de exportação de mercadorias.

2.2 TRANSPORTE CONTEINERIZADO

O transporte containerizado trata do envio de mercadorias usando a embalagem secundária, o contêiner. Esse transporte pode ser atendido por cinco modalidades básicas água, trem, caminhão, ar e dutos ou combinações dessas modalidades (transporte intermodal)

(BALLOU, 1998). Para Ghiani, Laporte e Musmanno (2004), na prática, o transporte intermodal não leva em consideração todas as possíveis combinações e apenas algumas se tornam convenientes, como arcaminhão, trem-caminhão e água-caminhão, sendo as outras formas de combinações de baixa relevância.

A fim de obter uma maior compreensão do problema, é interessante detalhar o itinerário típico de um contêiner. A descrição a seguir foi extraída de Cheung e Chen (1998) Um cliente retira um contêiner vazio de um depósito, que normalmente está localizado próximo a um porto. Após carregá-lo, o cliente retorna o contêiner ao porto poucos dias antes da data prevista para a partida. O contêiner será então colocado no navio, que irá para o porto de destino. Após chegar ao porto de destino, o contêiner será direcionado ao destinatário. Este irá descarregar o contêiner e devolvê-lo vazio a um pátio de contêineres, a um depósito ou diretamente ao porto. Esse contêiner vazio poderá então ser utilizado para satisfazer a demanda deste porto, ou armazenado como estoque.

Além disso, em um porto, quando os contêineres vazios disponíveis não são suficientes para atender à demanda, o operador da companhia naval pode necessitar arrendar contêineres de fornecedores ou realocar contêineres vazios de outros portos. Entretanto, a realocação de contêineres vazios está sujeita à existência de espaço disponível no navio, onde geralmente contêineres estivados têm prioridade mais alta.

Com o objetivo de atender à demanda dos clientes, Lai, Lam e Chan (1995) colocam que as companhias têm como alternativas:

- Carregar no navio contêineres vazios extras;
- Arrendar contêineres vazios, se disponíveis, no porto de demanda;
- Repassar seus clientes a um competidor quando não houver contêineres vazios disponíveis.

Todas essas alternativas acarretam perda de eficiência, sendo que a última opção resulta em prejuízo para as companhias navais e em atendimento ineficiente ao cliente. Na prática, a companhia tentará persuadir o cliente a aguardar até que alguns contêineres estejam disponíveis no próximo ciclo do navio.

Se os contêineres vazios não forem suficientes para atender à demanda, é necessário definir parâmetros para determinar a alocação de contêineres entre os vários portos. Neste

caso, em alguns portos poderá haver quantidade insuficiente, que deverá ou não ser suprida com arrendamento (de curto prazo) de contêineres vazios (Lai, Lam e Chan, 1995).

Os principais atores (do original em inglês, *players*) envolvidos no transporte contenerizado são: (i) embarcadores (do original em inglês, *Shippers*) – são tanto os produtores quanto os distribuidores; (ii) transportadores (do original em inglês, *Carriers*) – são os atores envolvidos com o transporte rodoviário, marítimo e ferroviário, assim como, o operador de transporte (do original em inglês, *supply transportation service*); e (iii) governo – responsável pelo fornecimento da infra-estrutura e da regulamentação (GHINI, LAPORTE e MUSMANNNO, 2004).

Além das duas características acima, classifica-se o tipo de transporte contenerizado em relação ao seu curso. O curso longo (do original em inglês, *longhaul*) envolve os transportes entre instalações (do original em inglês, *facilities*) e o curso curto (do original em inglês, *short-haul*) consiste em tarefas de curta duração feita dentro da uma mesma área, em geral dentro de uma mesma instalação (GHIANI, LAPORTE e MUSMANNNO, 2004).

Dada a complexidade envolvida, o gerenciamento deste transporte apresenta problemas. Ballou (1998) menciona vários aspectos a serem levados em conta na busca de solução, como: o preço, o tempo médio de trânsito (do original em inglês, *average transit time*), a variabilidade do tempo de passagem, e as perdas e danos. Em outro contexto logístico Lampert e Harrington (apud BALLOU, 1998) apresentam como aspecto mais relevante a habilidade das partes envolvidas cumprirem os prazos de entrega, assim aperfeiçoando o nível de serviço.

Bandeira (2005), apresenta que, no comércio naval, geralmente a escala de chegadas e partidas é fixa, e os serviços são oferecidos com certa regularidade. O cronograma de viagem de um navio é disponibilizado aos clientes com alguma antecedência. Segundo Cheung e Chen (1998), existem três fontes principais de aleatoriedade no problema de alocação dinâmica de contêineres: a demanda em cada porto, o suprimento em cada porto e a capacidade que o navio possui para carregar contêineres vazios.

Vários dias antes da data prevista para a partida de um navio, deve haver disponibilidade de contêineres vazios, para que os clientes possam buscá-los. Em geral, uma companhia atende um grande número de clientes em vários locais. Entretanto, o número exato de contêineres vazios necessários em um determinado período de tempo é altamente incerto. Por outro lado, o suprimento de contêineres vazios depende do tempo de retorno destes

contêineres vindos dos consignadores, sobre os quais a companhia não tem controle. A situação é complicada ainda mais pela prática comum de acumulação de contêineres em algum pátio (em terra), para então enviá-los em lotes por trem, reduzindo custos (Cheung e Chen, 1998). No entanto, armazenar contêineres vazios em portos envolve custo de armazenagem.

O ciclo de viagem de um contêiner é feito por um conjunto de eventos de importação e exportação. O ciclo origina-se e termina no depósito, com o contêiner sendo esvaziado. As taxas de partida de contêineres vazios desde o depósito até o cliente, e as taxas de chegada de contêineres vazios desde os clientes até o depósito são aleatórias (Lai, Lam e Chan, 1995).

O número real de contêineres que podem ser carregados em um determinado navio não é conhecido com certeza. Como exemplo, o peso de contêineres individuais pode variar bastante. Desta forma, um grande número de contêineres pesados pode reduzir a capacidade de uma embarcação (Cheung e Chen, 1998).

A maioria dos contêineres possui dois tamanhos (20 ou 40 pés de comprimento). Podem existir situações em que um cliente aceite um contêiner maior (40 pés) em vez de dois pequenos (20 pés) ou vice-versa. Entretanto, essas situações são raras. A fim de simplificar a modelagem, vários autores (ex.: Lai, Lam e Chan, 1995; Shen e Khoong, 1995) assumiram que os dois tamanhos não são intercambiáveis. No trabalho de Bandeira (2005), optou-se por utilizar apenas um tipo de contêiner, o de 20 pés.

2.3 MODELOS DE ALOCAÇÃO DE CONTÊINERES VAZIOS

Fluxo de redes é a formulação mais comum para a alocação de contêineres vazios (CHEUNG e CHEN, 1998). Para Bandeira (2005), o problema de alocação desses contêineres é visto como um problema de transbordo. O problema de transbordo é uma extensão do modelo de fluxo de redes, com pontos intermediários por onde os itens passam depois de embarcarem na origem e antes de chegarem ao destino.

Segundo Lai, Lam e Chan (1995), existem basicamente três tipos de contêineres:

- Pertencentes à companhia – quando não estão em uso, são armazenados em depósitos terceirizados. Os depósitos costumam cobrar por armazenagem diária.
- Arrendamento de curto prazo – quando não estão em uso, os contêineres podem retornar para a companhia de leasing, observando um limite de retorno mensal, que depende do porto, ou deverão ficar armazenados em depósitos terceirizados aguardando demanda de clientes para eles.
- Arrendamento de longo prazo – similar aos contêineres pertencentes à companhia, uma vez que não são permitidos retornos dentro de um período específico de tempo (usualmente 3 a 5 anos, determinados pelo arrendatário).

Para fins de modelagem, que será tratada adiante nesse trabalho, os contêineres próprios e os arrendados a longo prazo podem ser tratados da mesma forma, pois a empresa não pode retorná-los à companhia arrendatária.

Quando um navio chega a um porto, os contêineres podem ser descarregados ou permanecer no navio para atender à demanda em outros portos na continuação da viagem. Os contêineres disponíveis em um determinado porto incluem aqueles descarregados de um navio, os que estão armazenados no porto, os que devem retornar de clientes, além dos que podem ser arrendados de uma companhia de leasing. Esses contêineres serão utilizados para satisfazer a demanda ou armazenados como estoque (Cheung e Chen, 1998).

2.4 AS ENTIDADES ENVOLVIDAS

A seguir, são apresentadas as principais entidades envolvidas no problema de alocação de contêineres vazios, de acordo com Lai, Lam e Chan (1995):

- Terminal – área onde contêineres estivados ou vazios são carregados ou descarregados da embarcação. Os contêineres não podem ocupar o terminal por um longo período de tempo: eles devem ser carregados em navios ou transportados por caminhão para depósitos de armazenagem.
- Depósitos – existem dois tipos de depósitos: depósitos de leasing, aonde as companhias navais vão buscar contêineres para arrendamento de curto prazo, e depósitos de armazenagem, onde as companhias de navegação armazenam seu estoque de contêineres vazios. Na prática, os dois tipos de depósito podem estar no mesmo local.

- Portos – local da visita do navio. Existe uma demanda total por contêineres vazios do porto, que é a soma da demanda de vários clientes em um dado local. Lai, Lam e Chan simplificaram a modelagem, não considerando a demanda individual de cada cliente. No trabalho de Bandeira (2005), optou-se por tratar as demandas individualmente.
- Clientes – aqueles para os quais são carregados produtos em contêineres em cada porto. A companhia naval é responsável pelo transporte, por caminhão ou trem, de contêineres vazios ou estivados até as dependências dos clientes. Para Lai, Lam e Chan, a demanda de um dado porto é a soma da demanda de todos os clientes naquele porto, sendo modelada como variável aleatória. Neste trabalho, são consideradas as demandas individuais de cada cliente pertencente ao modelo.

Uma companhia de navegação trata seus contêineres próprios, não utilizados, como espaço de armazenagem. Se forem contêineres arrendados por curto prazo, o operador possui a opção de devolvê-los para a companhia de leasing. Entretanto, quando forem requisitados pelos clientes da companhia de navegação, eles poderão não estar mais disponíveis, se tiverem sido arrendados a outra companhia. O operador precisa considerar a relação da carga arrendada com a carga armazenada, simultaneamente com o risco de não oferecer contêineres quando necessário durante o próximo período de demanda. Em resumo, segundo Lai, Lam e Chan (1995), seriam três as principais decisões:

- Realocar contêineres vazios – o operador utiliza informações de relatórios de projeção de demanda com certa periodicidade (semanais, por exemplo), juntamente com o cronograma e a capacidade de cada embarcação, mais o status de contêineres excedentes, para produzir um plano de realocação que especifique o número de contêineres que devem ser carregados em cada navio em cada porto.
- Retornar contêineres para a companhia de leasing – se o relatório de projeção indicar que haverá um excesso de contêineres vazios em um dado porto, o operador pode tentar retornar todos os contêineres excedentes arrendados em curto prazo para os depósitos de leasing, de maneira a minimizar o custo de cargas armazenadas e arrendadas.
- Arrendar contêineres da companhia de leasing – se o número de contêineres realocados não satisfizer a demanda, o operador irá primeiro otimizar a alocação, e depois providenciar leasing de curto prazo, se disponível.

2.4.1 RESTRIÇÕES OPERACIONAIS

Existem algumas restrições operacionais relatadas por Lai, Lam e Chan (1995) que devem ser observadas:

1. Limitação de espaço – quando o espaço do navio não puder contemplar todos os contêineres vazios necessários para atender a demanda nos próximos portos, o operador precisará arrendá-los. Os contêineres vazios que os navios puderem transportar devem ser alocados utilizando procedimentos de eliminação ou redução.
2. Limitação de devolução – o número total de contêineres retornado por mês pode ser limitado pelo contrato de leasing. Locações diferentes podem ter limites de retorno diferentes.
3. Incerteza de obtenção – apesar de a companhia ter opção de arrendar contêineres por curto prazo a qualquer hora, existe a possibilidade de os contêineres não estarem disponíveis ou não serem suficientes.
4. Desvio na demanda projetada – os relatórios de projeção são fornecidos com antecedência, antes da data real de partida do navio em cada porto, e existe uma discrepância entre a demanda projetada e a necessidade real. Algumas causas possíveis são: flutuação de cargas exportadas entre portos e alterações inesperadas de demandas de clientes.

Os autores chamaram atenção ainda para alguns parâmetros críticos que devem ser observados: estoques de segurança (ou reserva), fator de correção de segurança para alocação (pois os relatórios de previsão de demanda de um determinado período de tempo são originados antecipadamente), ponto crítico de alocação (valor mínimo a partir do qual há necessidade de suprir determinado porto), prioridade para alocação de portos dependendo de seu custo de manipulação e de descarga de contêineres.

2.4.2 CUSTOS

Crainic, Gendreau e Dejax (1993) salientam a importância da movimentação de contêineres vazios. Em primeiro lugar, porque todo movimento comercial (rentável) de um contêiner estivado automaticamente gera um movimento de um contêiner vazio (não rentável). Uma vez que contêineres estivados são entregues nas dependências do cliente, e são descarregados, eles normalmente têm de ser transportados de volta vazios. Por sua vez, os contêineres vazios têm de ser entregues aos clientes que deles necessitam.

Os navios de carga transportam contêineres carregados com produtos, assim como contêineres vazios de retorno. Os contêineres estivados têm de ser transportados para sua destinação final, seja uma empresa ou um centro de distribuição em algum local em terra. O transporte terrestre pode ser feito por trem, caminhão ou combinações destes. Os contêineres vazios que são descarregados podem permanecer no porto por um tempo, ou ser imediatamente despachados para onde eles forem necessários para usos subseqüentes (Crainic, Gendreau e Dejax, 1993).

Uma vez descarregados, os contêineres vazios têm de ser recolhidos nas dependências dos clientes. Eles podem retornar ao porto de origem ou ser transportados para qualquer outro depósito, porto ou terminal terrestre. Este retorno pode ou não ser feito pelo mesmo veículo (caminhão, trem) que foi usado para o transporte do porto até o cliente.

Similarmente, empresas de exportação necessitam de contêineres vazios, seja advindos do porto ou de outro local qualquer. Devido a considerações organizacionais, pouca movimentação de contêineres vazios é feita diretamente entre clientes (Dejax, Crainic e Delorme, 1988 apud Crainic, Gendreau e Dejax, 1993). Depois de carregados, os contêineres são transportados para o porto de exportação e acomodados em navios, juntamente com contêineres vazios levados para outros destinos, causando o desequilíbrio natural no suprimento de contêineres (Crainic, Gendreau e Dejax, 1993).

Além disso, existem desequilíbrios regionais significativos entre importação e exportação dentro da área servida pelas companhias. Por outro lado, são oferecidas oportunidades para redução de custo devido ao transporte de massa de contêineres em longas distâncias (trem, por exemplo), resultando em movimentação em terra de contêineres vazios diretamente entre depósitos, chamados de fluxos balanceados (Crainic, Gendreau e Dejax, 1993).

Desta forma, seja pelo impacto na necessidade do recurso “contêiner”, seja pela qualidade do serviço oferecido aos clientes da companhia, a movimentação de contêineres vazios tem um papel central no gerenciamento da distribuição e transporte de contêineres (Crainic, Gendreau e Dejax, 1993).

O fato de mover um contêiner vazio próprio de um porto para outro envolve custo de carga, custo de descarga e custo de transporte. Como os contêineres vazios podem ser colocados em um navio sempre que haja espaço disponível, para Cheung e Chen (1998) o custo de transporte é desprezível quando comparado com os custos de carga e descarga.

Armazenar contêineres vazios em portos envolve o custo de armazenagem. Por outro lado, ao arrendar um contêiner de uma companhia de leasing, o custo total inclui também o

custo de retirá-lo e de devolvê-lo. Arrendar é geralmente mais caro do que utilizar os próprios contêineres. Entretanto, as companhias de leasing de contêineres podem oferecer incentivos aos operadores de companhias navais, propondo-se a retirar os contêineres arrendados de um porto assim que um grande número seja acumulado (Cheung e Chen, 1998).

Lai, Lam e Chan (1995) colocam cinco componentes de custo para o problema de alocação de contêineres vazios:

1. Custo de realocação de contêiner vazio – associado com a carga e descarga do contêiner. Esse custo é diferente em cada porto. Além disso, há o custo de transporte de contêineres vazios de um porto a outro, que pode ser desprezado, se houver espaço disponível.
2. Despesa de devolução – quando os contêineres são retornados às companhias de navegação em um dado porto;
3. Despesa de busca – quando as companhias necessitam contêineres para leasing de curto prazo;
4. Custos diários de armazenagem – custo de cada contêiner vazio colocado em um depósito de armazenagem;
5. Custos diários de ociosidade ou aluguel – custo que ocorre sendo os contêineres utilizados ou não.

Cheung e Chen (1998) consideraram os seguintes itens na apuração do custo total: custo de descarga do navio, custo de carregamento no navio, custo de propriedade, transporte e arrendamento dos contêineres.

2.5 TRABALHOS ANTERIORES

O primeiro trabalho encontrado é White (1972), em que preocupação é com o dinamismo, que é tratado como um problema de transbordo. Quando e onde estão os contêineres vazios, e conseqüentemente a quantidade de contêineres, são pressupostos importantes do sistema. Antecedência e atraso são tratados através de custos, e não como restrições que devem ser atendidas.

Apesar de não apresentarem, White (1972), Lam, Lee e Tang (2007) sintetizam os trabalhos relacionados ao contexto da alocação dinâmica de contêineres vazios. Essa classificação se apresenta em dois eixos: o tipo de modelo e o nível de aplicação.

White (1972), Ermol'ev, Krivets e Petukhov (1976) propõem abordar balanceamento de contêineres vazios por uma formulação de fluxo de rede. A rede considera a quantidade de contêineres vazios que podem ser alocados nos navios. Com isso, reduz-se o problema à busca de fluxo ótimo de contêineres vazios.

Na década de 1980, Dejax e Crainic (1987), revisando a literatura de fluxos vazios (do original em inglês, *empty flows*), salientam a importância da alocação dos contêineres vazios, principalmente pelo fato de poderem usar diferentes tipos de transportes. Os autores também constataam a persistência do problema na indústria containerizada (do original em inglês, *containerized shipping industry*), o que é reafirmado por Crainic, Gendreau e Dejax (1993), Bandeira (2005) e Lam, Lee e Tang (2007).

Lai, Lam e Chan (1995) desenvolveram um modelo de simulação, que considera as atividades operacionais de uma companhia de navegação na tentativa de melhor alocar os contêineres vazios. O problema, para os autores, está na previsão de demanda futura dos contêineres vazios e se usa heurísticas para identificação de políticas de custo.

No mesmo ano, Shen e Khoong (1995) apresentam um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para o gerenciamento da distribuição dos contêineres vazios. Entretanto, eles não apresentam uma formulação matemática e o SAD funciona através do relaxamento de restrições. A questão é vista de maneira dinâmica, onde utiliza modelos de fluxo de rede com restrições relaxadas. Sua preocupação é com a escalabilidade e não com a solução ótima, como Lai, Lam e Chan (1995) e diferentemente do Crainic, Gendreau e Dejax (1993).

Já Cheung e Chen (1998) focam na incerteza associada à alocação. Os autores propõem um modelo de rede dinâmico e estocástico em dois estágios para auxiliar as transportadoras navais. Atenção especial é dada ao segundo estágio deste modelo, pois nele a minimização é em relação ao custo do excesso e da falta de contêineres.

Crainic, Gendreau e Dejax (1993) já afirmavam que o tempo do planejamento deve ser determinado cuidadosamente. Em seu estudo, Choong, Cole e Kutanoglu (2002) tiveram como objetivo estudar o efeito do tamanho do período de planejamento para o gerenciamento dos contêineres vazios considerando transportes intermodais que usam da estrutura de rede do problema. Eles demonstram, empiricamente, que um horizonte longo para um sistema com uma grande quantidade de contêineres não necessariamente é melhor do que um mais curto.

Pela primeira vez, Bandeira (2005) aborda o problema da alocação e movimentação de contêineres vazios integradamente com os estivados. Primeiramente é visto como um modelo

de rede e transbordos, sem dinamismo. O dinamismo é satisfeito através do uso de uma heurística que opera em estágios a alocação dos contêineres estivados e vazios. No entanto, não é apresentada uma comparação dos resultados obtidos pela heurística com resultados ótimos de uma formulação matemática.

Posteriormente ao trabalho de Bandeira (2005), dois trabalhos envolvendo o problema de DCA podem ser encontrados. Lam, Lee e Tang (2007) retomam a preocupação com a otimização do sistema. Estes autores desenvolvem uma abordagem por aproximação dinâmica, e estocástica, para a alocação dos contêineres vazios. Apesar de realizarem a otimização em uma escala reduzida, alegam que a abordagem pode ser escalável. Eles também chamam a atenção para a melhoria, na formulação, que se pode obter adotando heurísticas comumente encontradas na literatura.

O outro trabalho é apresentado por Li et al. (2007). A preocupação é com a alocação de contêineres vazios entre multi-portos, não abordando o problema de forma integrada ao fluxo de entrega. O modelo tem como pressupostos: a quantidade de contêineres serem constante; uma quantidade de tempo discreta e finita; não há múltiplas rotas; e preocupando-se com a política de estoque dos contêineres vazios. Usa-se a estrutura de rede do problema, porém se tem estoques de contêineres que possuem um limite superior e inferior (U,D) e há uma política para quando a quantidade de contêineres estiver menos que U, importar até a quantidade U e quando estiver mais do que D, exportar até a quantidade D. Heurísticas são usadas para classificar o problema em dois casos e só se preocupam em resolver onde ocorre redução de custos nos dois casos.

Apesar de Bandeira, Becker e Borenstein (2009) apresentarem uma formulação para o problema, não são demonstradas comparações entre os resultados da heurística e os resultados da formulação apresentada. Fica clara uma lacuna com relação à demonstração de resultados ótimos para o problema de alocação de contêineres.

Embora tenhamos apresentados tais trabalhos, pôde-se confirmar a carência de publicações na área de gerenciamento de contêineres vazios, fato ressaltado por Dejax e Crainic (1987), Crainic, Gendreau e Dejax (1993), Lai, Lam e Chan (1995) e Choong, Cole e Kutanoğlu (2002); e de modelos que tratassem a distribuição normal e reversa de contêineres simultaneamente, o que também foi enfatizado por Fleischmann et al. (1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

Para o presente projeto, faz-se necessário o uso e leitura contínuos de novos estudos, modelos e dados, para que a posterior análise de dados seja atual. Utilizaremos os dados presentes na tese de Bandeira (2005), acerca da utilização dos contêineres, da modelagem do problema e a possível simulação de possibilidades, tal qual a investigação profunda da movimentação de contêineres entre portos.

3.2 MÉTODOS

Este trabalho visa à constante busca por dados e estudos que possam aprimorar e refinar o olhar do pesquisador. Nesse sentido, o aluno procurará oferecer uma análise atual se sincronizada com as mais modernas práticas de transporte e simulação disponíveis.

Num primeiro momento, ocorre a uma análise inicial de teorias acerca da problemática envolvendo a alocação de contêineres e teorias que explicitem possíveis causas de tal cenário. Num segundo momento, procura-se evidenciar tal situação com a coleta de dados trabalhos anteriores relacionados ao tema abordado, dados esses que irão suprir possíveis simulações

hipotéticas ideais, além de permitir ao pesquisador uma formulação científica acerca do desequilíbrio que ocorre no transporte de contêineres.

Por fim, baseado na coleta de dados, na análise dos mesmos, na teoria estudada e com discussões com o orientador, procurar-se-á desenvolver uma conclusão válida e embasada teoricamente para o problema inicialmente apresentado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Cheung e Chen (1998), apesar de vários modelos (a maioria de rede) terem sido propostos para o problema de alocação de contêineres, a natureza estocástica e o tamanho do problema dificultam o desenvolvimento e teste de métodos de solução eficientes. Observam ainda que, nos processos estocásticos, as decisões têm de ser tomadas antes que os parâmetros aleatórios sejam observados. Além disso, após os valores tornarem-se disponíveis, devem ser tomadas novas ações. O custo esperado futuro depende da decisão atual, e geralmente envolve problemas de otimização baseados em expectativas, tornando o problema muito difícil de solucionar.

Cheung e Chen agrupam os métodos de solução para programação estocástica em três categorias:

1. Métodos de aproximação não-linear – aproximam a função de recurso esperado, de alta complexidade, para uma função não-linear determinística;
2. Métodos de cenário – utilizam exemplos fixos para aproximar o espaço de probabilidade subjacente, para então resolver o problema resultante por técnicas de otimização, que são usualmente métodos de decomposição natural (por exemplo, algoritmo hedging progressivo e decomposição L-shaped); e
3. Métodos estocásticos quasi-gradiente – utilizam gradientes ou subgradientes de amostra para aproximar a linearidade da função de recurso esperado, para então resolver uma seqüência de problemas de programação linear. Observam que podem ser feitas também combinações desses métodos ou abordagens híbridas.

Os mesmos autores classificam o problema de alocação dinâmica de contêineres (em inglês, DCA – Dynamic Container Allocation) como altamente relacionado com o problema de alocação dinâmica de veículos (em inglês, DVA – Dynamic Vehicle Allocation), que

envolve gerenciar uma frota de veículos no espaço e no tempo, citando algumas diferenças fundamentais entre eles. Em primeiro lugar, no DVA, a origem da aleatoriedade é assumida pela demanda do mercado, representada pelas capacidades de arcos aleatórios na formulação da rede estocástica, enquanto que, no DCA, a demanda e o fornecimento de contêineres vazios e o espaço disponível para contêineres vazios no navio são todas quantidades aleatórias. No DVA, não há programação fixa para um veículo mover-se, enquanto que no DCA existe uma programação da viagem. No modelo de rede do DVA, os veículos circulam na rede e o transportador tem controle total do veículo; no DCA, uma vez que um contêiner é utilizado para atender a demanda em um porto (tornando-se um contêiner estivado), ele deixa a rede, reentrando como um suprimento aleatório no futuro.

Para Crainic, Gendreau e Dejax (1993), a existência de vários tipos de contêiner e regras de substituição complexas são alguns dos fatores que distinguem o problema de alocação de contêineres do problema da alocação dinâmica de veículos em outros meios de transporte. Como consequência, a noção de contêineres equivalentes tem de ser introduzida no modelo com vários tipos de contêiner.

Com respeito ao processo de alocação, Crainic, Gendreau e Dejax salientam que apenas movimentos vazios aparecem como variáveis de decisão nos modelos de alocação de contêineres, embora movimentos com carga sejam considerados em todo o sistema de planejamento e no modelo de roteamento. Isso se deve ao fato de que contêineres carregados são embarcados para fora da rede terrestre, desaparecendo para propósitos de planejamento. Nos modelos DVA, os veículos carregados permanecem nas fronteiras da rede para tornarem-se disponíveis novamente para alocação em um curto espaço de tempo.

O mesmo veículo pode ser alocado várias vezes dentro de um determinado horizonte de planejamento, o que praticamente nunca acontece no caso da distribuição de contêineres em terra. Uma consequência inesperada disso é que decisões de alocação atuais têm menos impacto no sistema em consideração. Os autores julgam que isso pode reduzir as distorções de *feedback* causadas por um horizonte de planejamento limitado, permitindo trabalhar com um horizonte menor.

Assim, na tentativa de desenvolver um modelo unificado para o problema da alocação de contêineres vazios, Bandeira (2005) propôs um estudo em que foram envolvidos modelos de alocação de contêineres estivados, modelos de alocação de contêineres vazios e a posterior integração dos mesmos.

Para Crainic, Gendreau e Dejax, o modelo de alocação de contêineres vazios, similarmente a qualquer outro modelo operacional de uma organização ampla e complexa,

requer dados abundantes e prontamente disponíveis. Essas informações são variáveis por natureza e podem ser usadas para inferir as formulações e o desenho da aplicação, devendo ser atualizadas cada vez que o horizonte de tempo avança. Os modelos devem ser projetados como parte de um sistema de suporte à decisão de planejamento de curto prazo para contêineres vazios e estivados. Para sua implementação, assume-se que deva existir um sistema de informação confiável.

As previsões de suprimento e demanda de contêineres vazios devem ser precisas e têm de ser constantemente atualizadas, o que é crítico para o sucesso da implementação do modelo de alocação. Segundo os autores, estudos preliminares demonstraram que métodos de previsão simples não conseguem capturar toda a complexidade do mecanismo de demanda, o que julgam acontecer também com relação ao suprimento. Uma análise mais acurada havia revelado que as demandas e os suprimentos observados são de fato uma superposição de vários processos com características diferentes. Para obter previsões realistas, é necessário identificar o processo, monitorá-lo através do sistema de informação da companhia, derivar previsões individuais e por processo adequadas, e finalmente reunir todas essas previsões em distribuições de probabilidade.

A formulação de alocação de contêineres vazios foi reproduzida de Crainic, Gendreau e Dejax (1993). Este modelo é dinâmico e determinístico, contemplando apenas um tipo de contêiner, utilizando funções lineares de custo para todas as atividades inseridas no modelo de alocação: propriedade, substituição, empréstimo e transporte. Os custos de manipulação não foram incluídos no modelo.

As operações na rede são direcionadas pela quantidade de suprimento e demanda de contêineres vazios associados com clientes, depósitos e portos, para cada um dos períodos do horizonte de planejamento.

Os suprimentos e demandas de contêineres vazios associados com portos retratam que, em geral, qualquer sistema de transporte é encaixado em outro maior: regiões em estados, estados em países, países no mundo etc. Tais variações refletem as diferenças entre suprimentos e demandas no comércio internacional.

Os contêineres vazios podem ser transportados desde qualquer origem inicial até qualquer destino final, dependendo apenas das demandas necessárias nos pontos de destino e do suprimento disponível nos pontos de origem. Antes de chegar ao seu destino final, os contêineres vazios circulam através de um ou mais pontos intermediários (depósitos em terra e depósitos em portos), que operam como pontos de transbordo.

O modelo de alocação de contêineres vazios é representado por uma rede, cujos nós são compostos pelos pontos de origem e de destino, e pelos pontos de transbordo (depósitos em terra e depósitos em portos). Os arcos da rede representam os movimentos possíveis entres esses pontos. Por definição, não são efetuadas ligações diretas entre clientes de suprimento e clientes de demanda. Também são excluídas as combinações que representam movimentos entre o mesmo depósito em terra ou entre o mesmo depósito em porto.

Cada ponto de origem pode transportar contêineres vazios para depósitos em terra ou depósitos em portos que, ao atuar como pontos de transbordo, devem repassar esses contêineres para os pontos de destino, de acordo com sua demanda.

O objetivo da distribuição de contêineres vazios é realocá-los de forma a atender a demanda de cada ponto pertencente ao modelo, visando obter o menor custo possível de transporte global.

O custo total é formado pela soma de todos os custos com armazenagem, processamento e transporte entre clientes de suprimento e depósitos, entre depósitos e clientes de demanda, e entre depósitos (em terra e em portos).

A restrição de suprimento de cliente considera o suprimento de cada ponto de origem, envolvendo todos os pontos intermediários de destino (depósitos em terra e depósitos em portos). A restrição de demanda de cliente garante o atendimento da demanda, considerando todas os pontos intermediários de origem (depósitos em terra e depósitos em portos).

O modelo apresenta uma que restrição assegura o fluxo de balanceamento de todos os contêineres vazios que passam por determinado ponto intermediário (depósito em terra ou depósito em porto), e uma expressão que representa as restrições usuais de não-negatividade das variáveis de decisão.

Para escrever a função objetivo do modelo, é preciso definir o critério de custo associado a cada uma das atividades de transporte e armazenagem definidas no sistema. De modo geral, a função de custo de uma atividade específica (ex. movimentar contêineres, em um período de tempo específico, entre um dado cliente e um porto particular) pode depender dos valores de todas as variáveis de fluxo do modelo. Apesar disso, na prática, não é requerida uma definição ampla, uma vez que a maioria do tráfego vazio que envolve clientes é feita em distância e movimentos relativamente curtos, poucos contêineres por vez (geralmente por caminhão). Foi assumido que, para esse tipo de operação, a função de custo depende apenas da intensidade da atividade.

Os contêineres vazios podem ser transportados desde qualquer origem inicial até qualquer destino final, dependendo apenas das demandas necessárias nos pontos de destino e do

suprimento disponível nos pontos de origem. Antes de chegar ao seu destino final, os contêineres vazios circulam através de um ou mais pontos intermediários (depósitos em terra e depósitos em portos), que operam como pontos de transbordo.

Na função objetivo, o custo total é formado pela soma de todos os custos com armazenagem, processamento e transporte entre clientes de suprimento e depósitos, entre depósitos e clientes de demanda, e entre depósitos (em terra e em portos).

A restrição de suprimento de cliente considera o suprimento de cada ponto de origem, envolvendo todos os pontos intermediários de destino (depósitos em terra e depósitos em portos). A restrição de demanda de cliente garante o atendimento da demanda, considerando todas os pontos intermediários de origem (depósitos em terra e depósitos em portos).

A restrição assegura o fluxo de balanceamento de todos os contêineres vazios que passam por determinado ponto intermediário (depósito em terra ou depósito em porto), e a expressão representa as restrições usuais de não-negatividade das variáveis de decisão.

Os contêineres estivados possuem destino específico, mas devem ser conduzidos através de pontos intermediários (depósitos em terra e depósitos em portos), que atuam como pontos de transbordo.

O modelo de alocação de contêineres estivados é representado por uma rede, cujos nós são compostos pelos pontos de origem e de destino, e pelos pontos de transbordo (depósitos em terra e depósitos em portos). Os arcos da rede representam os movimentos possíveis entres esses pontos. Por definição, não são efetuadas ligações diretas entre clientes de suprimento e clientes de demanda. Também são excluídas as combinações que representam movimentos entre o mesmo depósito em terra ou entre o mesmo depósito em porto.

Cada ponto de origem envia os contêineres estivados para depósitos em terra ou depósitos em portos que, ao atuar como pontos de transbordo, devem repassar esses contêineres para os pontos de destino predeterminados.

O objetivo da distribuição de contêineres estivados é transportar cada unidade até seu destino final, buscando obter o menor custo possível de transporte global. O modelo apresentado a seguir é baseado no modelo de alocação de contêineres vazios (dinâmico determinístico, para um tipo de contêiner) de Crainic, Gendreau e Dejax (1993).

Antes da construção do modelo integrado, foi necessário modelar o fluxo de um contêiner vazio (desde seu descarregamento nas dependências de um destinatário até que esteja novamente disponível a um cliente, independentemente de sua localização), e de um contêiner estivado (desde seu carregamento nas dependências de um cliente até que seja entregue a um

destinatário). Após a elaboração desses fluxos, eles foram integrados, observando o balanceamento entre o fluxo normal e o fluxo reverso.

Bandeira (2005), apresenta um esquema do modelo integrado, delineando a rede de movimentação de contêineres vazios e estivados. Na rede, os nós representam clientes de origem e de destino, portos, depósitos em terra, e um *pool* de companhias arrendatárias de contêineres. Os arcos representam as rotas possíveis entre essas entidades, que podem ser terrestres (caminhão ou trem) ou marítimas. O *pool* será habilitado apenas quando for definido que o modelo incorpore a opção de utilização de leasing.

Os clientes podem originar demandas de contêineres estivados ou vazios, ou fornecer suprimento de contêineres estivados ou vazios. A demanda de um cliente pode ser satisfeita a partir de qualquer cliente que possua suprimento disponível, sempre através de um depósito (em terra ou porto) que esteja ligado a ambos os clientes. Os portos e os depósitos em terra processam e armazenam temporariamente contêineres em seus pátios. Por definição, não são efetuadas ligações diretas entre clientes de suprimento e clientes de demanda. Também são excluídas as combinações que representam movimentos entre o mesmo depósito em terra ou entre o mesmo depósito em porto.

A cada unidade de tempo, o modelo deve refletir o estoque de contêineres de cada cliente e de cada depósito, tratar as demandas de clientes por contêineres vazios e estivados adequando ao suprimento ofertado, observar tempos de armazenagem e de processamento nos depósitos, e tempos de transporte entre todos os pontos, levando em conta que quaisquer desses parâmetros afetam o resultado da execução. Devido à existência de muitas combinações diferentes para ser testadas em modelos dessa natureza, Lai, Lam e Chan (1995) aconselham a utilização de técnicas heurísticas para obter algumas soluções preliminares, prática que foi adotada neste trabalho.

Entretanto, Bandeira (2005) relata que somente durante o projeto e desenvolvimento do sistema foi possível perceber a alta sensibilidade do modelo: além da quantidade de parâmetros que podem e devem ser customizados, alterações em quaisquer desses parâmetros podem modificar consideravelmente os resultados do processamento em longo prazo. Pequenas variações, tais como uma unidade de tempo adicional para armazenagem em um depósito, causam alteração no andamento do processamento e resultados bastante distintos em termos de prazos e quantidades transportadas.

Outro desafio enfrentado durante o desenvolvimento e testes do sistema foi encontrar uma forma eficiente de priorizar o atendimento das demandas lidando com os pedidos não atendidos das unidades de tempo anteriores (*backlog*). Algumas soluções causavam grande

defasagem entre a data da solicitação e a data do atendimento. Ou seja, se pedidos não atendidos são adiados para a próxima unidade de tempo, e o sistema prioriza demandas mais antigas, as novas encomendas ficam temporariamente relegadas.

Caso todas as encomendas fossem agregadas ao modelo antes da otimização, o custo ótimo poderia fazer com que as mais novas fossem atendidas prioritariamente, e as encomendas mais antigas nunca o fossem.

Ainda na fase de desenvolvimento, com a proposição de manter o mínimo custo, foi aventada a possibilidade de otimizar o roteiro a cada trecho de transporte, modificando os pontos intermediários dinamicamente, o que se mostrou inviável. Optou-se, então, por manter o caminho determinado, mesmo que esse custo não permanecesse ótimo no decorrer do tempo (ou pudesse ser minimizado ao longo da execução, devido à liberação de caminhos que eventualmente não estavam disponíveis no momento da otimização). Como, no mesmo momento, deveria ser feito o controle dos contêineres que já estavam sendo transportados, manter o caminho previamente determinado mostrou-se a solução mais indicada.

Se todo o cronograma fosse determinado inicialmente e mantido estático até o final, o custo ótimo seria conservado, mas novas demandas não seriam atendidas enquanto todo o roteiro não fosse cumprido. Então, após o roteamento pelo mínimo custo, a disponibilidade de vagas nos depósitos de cada trecho é atualizada à medida que o seu transporte é efetivado, e o custo real é recalculado ao final de cada unidade de tempo.

Portanto, optou-se por focalizar no custo, mas sem desprezar o nível de atendimento. Possivelmente, os custos de transporte poderiam ser menores, mas os gargalos no sistema o tornariam inviável.

Conforme exposto anteriormente, o problema de transporte de contêineres, em situações reais, é tipicamente desequilibrado – a regra é que a quantidade global de suprimento e de demanda não sejam as mesmas. Entretanto, para a resolução eficiente de um problema tradicional de transbordo, é recomendável que essas quantidades sejam igualadas. Para tanto, é necessário que, antes de montar o problema, seja feito algum tipo de equiparação entre a demanda necessária e o suprimento disponível, tanto para contêineres estivados como para contêineres vazios.

5 CONCLUSÕES

O problema de alocação de contêineres vazios e estivados é extremamente complexo, especialmente se o modelo busca otimizar ao mesmo tempo os aspectos de custo e de nível de serviço das operações de uma companhia. A literatura enfatiza que o fator que agrega complexidade aos sistemas baseados em logística reversa é a interação entre os fluxos normais e os fluxos de retorno, pois esses fluxos têm de ser considerados simultaneamente.

Como consequência, o problema apresenta natureza combinatória com relação à quantidade de variáveis e de restrições. Outra dificuldade que se apresenta é a antecipação de demandas futuras, que faz com que a companhia de navegação prescindia também de um bom planejamento terrestre, reposicionando e controlando a entrega de contêineres vazios para clientes que deles necessitem para futuros carregamentos. Por isso, o conceito de janelas no modelo de alocação de contêineres vazios foi uma premissa muito forte da modelagem aqui apresentada.

Não é possível fazer uma solicitação de demanda eficiente sem computar os contêineres que estão por chegar, tanto vazios como estivados; nem disponibilizar o estoque

de contêineres vazios sem considerar os que devem ser remetidos a outros clientes nas próximas unidades de tempo. Portanto, é fundamental o papel do horizonte do planejamento, pois todas as ações têm repercussão nos próximos movimentos.

No modelo estudado para esse trabalho, foi possível incorporar as recomendações de vários autores pesquisados sobre as principais características de um sistema de alocação de contêineres. As decisões mais importantes de uma companhia de navegação são: determinar o roteiro de transporte dos contêineres, realocar contêineres vazios, e arrendar e retornar contêineres das companhias de *leasing*.

O modelo utilizado neste estudo apresenta um plano consistente de realocação de contêineres vazios, pois as características principais foram mapeadas: a projeção de demanda em cada unidade de tempo, para estivados e vazios, foi computada; é possível obter o cronograma de chegadas e partidas em cada depósito ou porto; e a quantidade de contêineres vazios excedentes é constantemente atualizada.

Com relação ao retorno de contêineres para a companhia de *leasing*, o modelo prioriza sua devolução, visando reduzir o custo total de arrendamento, minimizando também, por consequência, o custo de armazenagem. Para a decisão de arrendamento de contêineres, o modelo primeiro determina a realocação de contêineres vazios, incluindo os suprimentos futuros, e só então faz uso do *leasing*, se houver necessidade.

Também as restrições ressaltadas na literatura foram observadas pelo modelo. A limitação de espaço (capacidade) foi implementada para depósitos em terra e depósitos em portos. Com relação à limitação da devolução do *leasing* por contrato, são observados tanto o prazo inicial de devolução (mínimo) como o prazo máximo. O modelo foi implementado de forma a reproduzir a incerteza de obtenção de arrendamento, considerando a indisponibilidade de contêineres nas companhias de *leasing*. Ao final do processamento de cada unidade de tempo, as demandas de contêineres estivados e vazios são atualizadas e computadas para a unidade seguinte, avaliando os eventuais desvios na demanda projetada com relação à necessidade real.

É interessante observar que o modelo utilizou várias técnicas categorizadas na literatura. O problema foi modelado e resolvido de forma dinâmica, abrangendo vários períodos de tempo contíguos (domínio do tempo), utilizando parâmetros determinísticos e estocásticos no suprimento e na demanda. Também foram utilizadas medidas de desempenho da rede (tempo de transporte, tempo de atendimento da demanda), indicativas do nível de serviço. Para implementação do modelo, utilizou-se formulação algébrica, otimização com

técnicas de programação matemática, modelos estocásticos, simulação e técnicas heurísticas para solução de problemas em rede.

O modelo foi projetado em estágios, permitindo que fosse elaborada uma solução estática, designando os melhores caminhos e quantidades de contêineres estivados e vazios que devem ser transportados, de forma a obter o menor custo (transporte, armazenagem e processamento) possível. Após cada resolução do problema de transbordo e atualização de todos os dados, transcorre a próxima unidade de tempo, quando foi feita uma nova avaliação das demandas, executando novamente o modelo, e assim sucessivamente. Todas as rotas obtidas na solução de mínimo custo (estática) são registradas e controladas dinamicamente até sua chegada ao destino final.

Além disso, o modelo foi concebido para ser flexível, propondo parâmetros tais como: ponto crítico de alocação (estoque de segurança mais fator de correção para alocação); opção de utilização ou não de *leasing*; ponto crítico para solicitação de *leasing*; prazo de vencimento das operações de *leasing*, prazo para verificação de recebimentos futuros antes de efetuar pedido de contêineres.

Enfim, o sistema deve, na mesma unidade de tempo, tratar a movimentação dos contêineres, realocar os contêineres vazios considerando o suprimento e a demanda, recalculando as demandas não atendidas e atender as demandas de contêineres estivados. Este conjunto de atividades é bastante intrincado, exigindo testes exaustivos e avaliações periódicas de desempenho.

Ao gerar um modelo integrado e executável, e verificando sua aderência aos resultados desejados, acredita-se haver atingido os objetivos e as questões de pesquisa propostos neste trabalho. Cabe ressaltar que o trabalho ofereceu uma contribuição teórica metodológica, indicando que tipos de informação o modelo é capaz de fornecer, não tendo esgotado seu potencial de aplicação.

Apesar de o problema ser combinatório, o modelo mostrou-se viável em termos práticos, principalmente ao se considerar a complexa rede de atividades envolvidas. Os fluxos relativos a contêineres vazios e estivados foram integrados, sendo que os fluxos normais e reversos são resolvidos simultaneamente. Além disso, os fluxos foram balanceados, fornecendo equilíbrio ao sistema.

Como observado na literatura, este problema apresenta grande complexidade, com restrições práticas difíceis de ser incorporadas e requerendo muito tempo computacional. Além disso, o algoritmo deve ser flexível para inclusão ou modificação de restrições e para alteração de seus critérios de apuração de custo.

Alguns procedimentos heurísticos tiveram de ser utilizados para minimizar a quantidade de variáveis do modelo e propiciar a utilização do *software* disponível. A partir disso, o modelo funciona como um problema de otimização (minimização de custos).

Foi possível elaborar um modelo de previsão satisfatório, computando contêineres vazios que estão chegando em datas futuras, contêineres que estão sendo esvaziados e tornando-se disponíveis. A modelagem do estoque mínimo e da margem de correção de pedidos torna o modelo mais próximo da realidade, oferecendo maior flexibilidade aos operadores.

O sistema não apenas elabora o roteamento dos contêineres baseado no mínimo custo, mas ainda provê o controle de todas as movimentações dos trechos de transporte, computando a entrada desses contêineres novamente no sistema, de forma automática para o usuário. O *leasing*, embora simplificado, mostrou sua importância na liberação de demandas e no bom andamento do fluxo do sistema.

O modelo possui um bom nível de parametrização, oferecendo grandes possibilidades para testes e análises. O modelo permite a avaliação de diferentes políticas de alocação de contêineres, identificando maneiras de reduzir os custos fixos e variáveis relativos ao comércio naval.

Quando testado com valores experimentais, o desempenho do modelo mostra-se apropriado, executando em um curto espaço de tempo e garantindo um nível de serviço adequado, com comportamento equilibrado no transcorrer do tempo.

Ao se informar demandas conhecidas, considerando os tempos de transporte, processamento e armazenagem mínimos e máximos cadastrados, o sistema permite a emissão de relatórios de previsão, antecipando a chegada dos contêineres nos destinos e a liberação desses para novos carregamentos.

Possibilitando a geração aleatória de demanda entre clientes, desde que os parâmetros sejam baseados em dados históricos, o sistema oferece uma modalidade de previsão ainda mais avançada, permitindo visualizar um horizonte de planejamento extenso, lembrando que é possível inclusive representar sazonalidade nas demandas através do uso de comandos.

A escolha do horizonte de planejamento foi arbitrária. A princípio, não há limite para o horizonte de planejamento, devido ao fato de o modelo conseguir absorver novas demandas entre os estágios estático e dinâmico. Cabe ressaltar que o processamento tem melhor desempenho quando há possibilidade de utilização de *leasing*. Portanto, a limitação refere-se apenas à capacidade do sistema computacional disponível e à situação a ser modelada, a qual pode incluir pontos críticos que reduzam o desempenho do sistema.

O plano de realocação em cada porto ou depósito é disponibilizado com antecedência. Entretanto, o modelo consegue assimilar de forma rápida e eficiente os desvios nas projeções. A cada unidade de tempo, a companhia de navegação pode obter um inventário de seus contêineres e sua localização em todas as entidades envolvidas no modelo.

É possível medir o desempenho econômico do modelo, utilizando várias opções de análise de custos, bem como avaliar a qualidade do serviço prestado, através de cálculos de ociosidade do sistema. O modelo possui flexibilidade para que sejam adicionados outros parâmetros julgados interessantes.

Acredita-se haver minimizado a ociosidade do sistema porque, a cada unidade de tempo, o modelo prevê onde os contêineres vazios serão necessários. Ao verificar antecipadamente contêineres que estarão sendo recebidos, evitam-se movimentos desnecessários ou o transporte de contêineres vazios apenas por precaução. Os contêineres vazios excedentes são movimentados apenas quando necessário.

Com base em todos os custos calculados durante o processamento, pôde-se analisar o custo-benefício entre transporte de contêineres vazios em navio ou terra, despesas de armazenagem ou despesas de arrendamento. Além dessas, são disponibilizadas outras informações: custo por unidade de tempo, custo por cliente, classificados por contêineres vazios e estivados, e outras combinações destes.

Enfim, provou-se ser possível unificar modelos que usualmente são tratados de forma isolada. Com o desenvolvimento de um novo modelo, integrando o fluxo de contêineres estivados com o fluxo de contêineres vazios, espera-se ter avançado no conhecimento dessa área, propiciando a implementação de um sistema de apoio a decisões com bom potencial para utilização por companhias de transporte.

O modelo foi implementado com procedimentos heurístico, não havendo convicção de que não existam métodos mais eficientes ou mais realistas. Entretanto, foram utilizados os que apresentaram melhores resultados entre os procedimentos testados.

Por simplificação, optou-se por tratar apenas um tipo de contêiner. Da mesma forma, não foram contemplados contêineres especiais (por exemplo, refrigerados). Formalmente, a inclusão de outros tipos de contêineres não oferece dificuldades conceituais em termos de procedimento de solução, adicionando mais variáveis e restrições ao modelo, e tornando-o mais lento em tempo de resolução.

Embora os custos estejam disponíveis, não foi implementada a possibilidade de analisar decisões entre o uso de armazenagem ou de leasing, o que alguns autores julgam importante. Na realidade, os custos de leasing são classificados como financeiros, e teriam de

ser comparados à parte, não exatamente no mesmo momento da minimização de custos logísticos, que foi o que se pretendeu proporcionar. Também não foi implementada multa por não atendimento de demanda. Essas características poderão ser incorporadas futuramente, devendo-se salientar que outras informações financeiras estão disponíveis para análise econômica do modelo.

O tempo de processamento nos depósitos é registrado de modo fixo por evento (carga ou descarga), independentemente do volume processado, entretanto deveria ser proporcional à quantidade de contêineres. Obviamente, maior acurácia seria obtida levando em conta que uma quantidade maior de contêineres, a partir de determinado limite, leva mais tempo para ser descarregada do que o tempo unitário cadastrado. Esse problema pode ser minimizado com a incorporação de uma função crescente côncava.

Outro aprimoramento do modelo seria a possibilidade de considerar reduções no custo de transporte quando este fosse efetuado por lotes (por exemplo, trens), devido à economia de escala. Atualmente, o custo é fixo por unidade, não absorvendo essas peculiaridades. Não existe, ainda, uma estrutura para repasse dos diversos custos a clientes e depósitos, o que poderia ser implementado. No momento, todos os custos são consolidados para uma companhia de navegação. Buscou-se não fugir ao escopo do trabalho de Bandeira (2005), embora o modelo permita diversas análises subseqüentes.

Para aperfeiçoamento do modelo seria necessária, num primeiro momento, a incorporação de mais de um tamanho de contêiner. Outra característica desejável é a capacitação dos arcos do modelo (fluxos), que representariam o espaço disponível para contêineres nos navios e nos meios de transporte terrestres. Opcionalmente, dependendo do interesse nessa alternativa, os portos poderiam ser priorizados apenas pelos seus custos de processamento (carga e descarga), sempre considerados onerosos no custo total. Outro estudo poderia focalizar em análises de custos de armazenagem em comparação a arrendamento de contêineres. Enfim, há possibilidade de novos relacionamentos entre variáveis, sendo o modelo utilizado como mecanismo de simulação.

Um exemplo de resultado reverso seria o desenvolvimento de um plano de localização de depósitos para armazenagem de contêineres, definindo suas áreas de serviço logístico, de forma a facilitar a redistribuição de contêineres vazios para a companhia de navegação e seus clientes, visando minimizar os custos totais. A flexibilidade do modelo permite que o sistema possa ser adaptado para privilegiar a minimização de tempo ao invés de custo. Também os critérios de priorização podem ser alternados entre data do pedido mais antiga, menor tempo ou menor custo, para análise do desempenho de cada alternativa.

Futuramente, após coleta de dados históricos, o sistema será capaz de oferecer métodos de previsão para as principais fontes de aleatoriedade da alocação dinâmica de contêineres (demanda, suprimento e capacidade dos navios para contêineres vazios), incorporando também os tempos de transporte de contêineres desde os depósitos até os clientes, e desde os clientes até os depósitos. Portanto, apesar de julgar-se que este trabalho tenha produzido avanço significativo na modelagem do problema de alocação e movimentação de contêineres, esse campo continua promissor para aperfeiçoamentos e novas pesquisas.

6 REFERÊNCIAS

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

BANDEIRA, Denise L. *Alocação e movimentação de contêineres vazios e estivados – um modelo integrado e sua aplicação*. Porto Alegre, 2005. Disponível em:
<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/6048>. Acesso em 16/10/2012.

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.

BRINATI & REZENDE, Marco A. & Liria B. *A logística do contêiner vazio. Uma nova abordagem*. Disponível em:
http://www.ipen.org.br/downloads/XIX/CT4_TRANSPORTE_MAR%C3%8DTIMOS_Y_FLUVIALES/Liria%20Baptista.pdf , acesso em 16/10/2012.

CRAINIC, T. G., GENGREAU, M., DEJAX, P. *Dynamic and Stochastic models for the allocation of empty containers*. Operations research 41 (1), 102-126, 1987.

CUOCCO, Marcello. *Otimização da seleção e alocação de cargas em navios de contêineres*. São Paulo, 2008.

LAI, K. K., LAM, K., CHAN, W. K. *Shipping container logistics and allocation*. Journal of the Operational Research Society, 46 (6), 687-697, 1995.

LI, J.; LEUNG, S.C.H.; WU, Y.; LIU, K. *Allocation of empty containers between multi-ports*. European Journal of operational research, 2007.

MOURA, Reinaldo A. *Atualidades na Logística*. São Paulo, 2003. IMAM.

MOURA, Reinaldo A. *Sistemas e técnicas de movimentação e Armazenagem de Materiais*. São Paulo, 2010. IMAM.

SHEN, W.S., KHOONG, C.M. *A DSS for empty container distribution planning*. *Decision Support Systems*, v. 15. Singapore, 1995.

Botucatu, 10 de Junho de 2012.

Rafael Suman Tassi

De Acordo:

Prof. Dr. Luís Fernando Nicolosi Bravin
Orientador

Vítor Campos de Leite
Coordenadora do Curso de Logística