

# Modelagem das operações de um terminal retroportuário de contêineres para maximização da margem de contribuição

*Modelling the operations of a hinterland container terminal to maximize the contribution margin*

Patrícia Aparecida Bilinski<sup>1</sup>, Cassiano Augusto Isler<sup>2</sup>, Gustavo Costa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina – Brasil, patriciabilinski@outlook.com

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo, São Paulo – Brasil, cassiano.isler@usp.br

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo, São Paulo – Brasil, costa@usp.br

## Recebido:

19 de abril de 2019

## Aceito para publicação:

4 de fevereiro de 2020

## Publicado:

16 de novembro de 2020

## Editor de área:

Marcio D'Agosto

## Palavras-chaves:

Terminal retroportuário.

Contêineres.

Margem de contribuição.

## Keywords:

Hinterland terminal.

Containers.

Contribution margin.

DOI:10.14295/transportes.v28i4.2019



## RESUMO

Os terminais retroportuários de contêineres surgiram para colaborar com a manutenção dos portos marítimos de contêineres no mercado global. Dado que as operações naqueles terminais devem ser planejadas para maximizar o seu retorno financeiro, este artigo apresenta um modelo matemático de programação linear inteira para determinação do número de operações que maximiza a margem de contribuição de um terminal retroportuário. O modelo considera diferentes operações nas suas áreas específicas e o atendimento de múltiplos produtos por diferentes tipos de contêineres em um horizonte de planejamento. Diferentes cenários foram estabelecidos em uma aplicação no contexto de um terminal retroportuário em Itapoá-SC. A máxima margem de contribuição entre os cenários foi obtida ao segregar a commodity madeira em dois produtos específicos, serrada e compensada, sendo este o material mais rentável. O segundo cenário de máxima margem de contribuição foi pelo aumento de um turno na oficina de reparo de contêineres.

## ABSTRACT

The facilities specialized in container management, also known as hinterland terminals, have emerged to facilitate the competitiveness of the container ports in the global market. This paper proposes an integer linear mathematical programming model to determine the optimal number of operations of a hinterland terminal that maximizes its profit from the perspective of maximum financial return. The model considers different operations in specific areas of a terminal and multiple products in different categories of containers over a planning horizon. Different scenarios were specified in the context of a hinterland terminal in Itapoá-SC. The maximum profit occurs by separating the commodity wood into lumber and plywood, the most profitable one. The second scenario of highest profit refers to adding a shift to the maintenance sector of the hinterland terminal.

## 1. INTRODUÇÃO

A containerização revolucionou o transporte de cargas ao viabilizar o aumento da produtividade e redução de custos. Segundo Bandeira (2005), a utilização dos contêineres alterou as práticas de movimentação e armazenagem de mercadorias, e a configuração e as operações dos terminais portuários, e tem afetado a intermodalidade à medida que facilita a transferência de cargas entre os modos de transporte.

Os terminais retroportuários de contêineres contribuíram para a adaptação dos portos marítimos às tendências do comércio global, colaborando para a manutenção destes no mercado internacional (Jeevan et al., 2017). Assim, dada a importância daqueles terminais para transporte marítimo de contêineres e o aumento da concorrência no setor, é necessário que as suas empresas operadoras identifiquem a melhor forma de gerir as operações com o objetivo de maximizar o seu retorno financeiro.

Neste contexto, o objetivo deste artigo é determinar o número ótimo de operações por tipo de contêiner e tipo de carga que maximiza a margem de contribuição de uma empresa operadora de um terminal retroportuário em Itapoá-SC. Um modelo matemático de programação linear inteira é proposto considerando operações de armazenagem, manutenção e reparo de contêineres vazios, e consolidação, desconsolidação e armazenagem de cargas conteinerizadas para cargas gerais.

Este artigo visa contribuir para a o entendimento do problema de fluxo de contêineres em terminais retroportuários sob dois aspectos. Em primeiro, do ponto de vista científico, busca-se propor um modelo matemático que possa ser aplicado a terminais retroportuários brasileiros com vistas à otimização de suas operações para maximização da margem de contribuição da empresa operadora, com potencial de melhoria das operações de suporte aos terminais portuários de contêineres. Em segundo lugar, busca-se apresentar uma contribuição prática para identificação dos tipos de contêineres e produtos a serem priorizados no horizonte de planejamento das operações de um terminal retroportuário, com resultados de um estudo de caso na região de Itapoá-SC.

Este artigo está dividido em seis seções. A seção 2 apresenta uma revisão da literatura sobre a abordagem de problemas referentes a operações com contêineres. As operações realizadas no terminal retroportuário objeto de estudo deste artigo são descritas na seção 3, bem como o modelo matemático proposto para caracterizar o problema de movimentação de contêineres no referido terminal. A seção 4 descreve os parâmetros do modelo e os cenários analisados, e a seção 5 apresenta os respectivos resultados quanto à rentabilidade e uso dos recursos do terminal retroportuário. Finalmente, a seção 6 apresenta conclusões e possibilidades de aplicações da pesquisa.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Costa (2006) segmenta os serviços de transporte marítimo regular de contêineres quanto ao tipo de carga (seca e refrigerada), dimensões do contêiner (20 pés ou 40 pés) e valor da carga. Segundo o autor, os procedimentos de transporte desses contêineres para operações de exportação são: fechamento de carga (booking) com o armador; recebimento do número de reserva (booking number); retirada do contêiner vazio no terminal; transporte e estufagem para exportação; depósito do contêiner cheio no porto; e liberação de carga para exportação pelos órgãos responsáveis.

Por outro lado, os procedimentos para importação são caracterizados por: liberação da carga junto às autoridades alfandegárias; retirada do contêiner no terminal portuário de desembarque; transporte do contêiner e desova da carga de importação; transporte do contêiner vazio até o terminal indicado pelo armador; e devolução do contêiner ao terminal de vazios (Costa, 2006).

Os processos de exportação e importação configuram o ciclo básico da logística de contêineres, que tem início e fim em um terminal de contêineres vazios. O exportador é responsável pelo

transporte terrestre e pelas operações que ocorrem entre o terminal de contêineres vazio inicial e o porto de origem, o armador é responsável pelo transporte marítimo e o importador é responsável pelos processos do porto de destino até o depósito final de contêineres vazios.

No contexto do ciclo básico da logística de contêineres, os terminais retroportuários podem executar recebimento e entrega de carga, consolidação e desconsolidação de cargas, transporte, despacho aduaneiro, armazenamento temporário e manutenção de contêineres (Laptaned, 2007).

Os benefícios dos terminais retroportuários compreendem: redução da área dos terminais portuários; redução dos atrasos; diminuição na movimentação de contêineres vazios; aumento da competitividade do custo de transporte; e aumento dos fluxos comerciais (Laptaned, 2007).

As pesquisas sobre movimentação de contêineres em geral abordam o transporte em curtas distâncias, reposicionamento de contêineres vazios e operações em terminais. Os problemas conhecidos como “drayage problems” tratam da movimentação entre clientes, terminais portuários, retroportuários, e depósitos de contêineres vazios. As operações são majoritariamente realizadas por caminhões e representam parcela expressiva dos custos de transporte intermodal (Bontekoning et al., 2004; Braekers et al., 2014).

Neste contexto, Caris e Janssens (2009) desenvolveram uma heurística para resolução do problema de entregas e coletas seguido de roteirização de caminhões. Shiri e Huynh (2016) formularam o problema analogamente ao de múltiplos caixeiros viajantes com janela de tempo e resolveram-no por um algoritmo de Busca Tabu.

Sterzik e Kopfer (2013) e Funke e Kopfer (2015) propuseram metaheurísticas para resolução de problemas de roteirização e programação de veículos simultaneamente. Braekers et al. (2014) trataram o problema como de múltiplos caixeiros viajantes assimétricos com janela de tempo e resolveram-no minimizando a distância total percorrida e o número de veículos designados. Para isso, os autores propuseram três métodos e obtiveram melhores resultados por um algoritmo híbrido Simulated Annealing e Busca Tabu.

A solução do problema de reposicionamento de contêineres vazios visa redução de custos e atendimento da demanda dos clientes, uma vez que o balanço entre importações e exportações em determinadas regiões requerem a sua redistribuição (Lee e Meng, 2015). Dong e Song (2009) associaram a redistribuição de contêineres vazios ao dimensionamento de estoque e basearam-se em algoritmos evolutivos (Algoritmo Genético) para resolução do problema combinado. Chou et al. (2010) formularam um modelo para estabelecer a quantidade de contêineres vazios a serem alocados em cada porto e o fluxo de redistribuição dos contêineres entre portos.

Teixeira e Cunha (2012) propuseram um modelo matemático para maximizar a margem de contribuição líquida total em um problema combinado de escolha de cargas e reposicionamento de contêineres vazios, tratado como um problema de fluxo em rede espaço-tempo multiproduto com restrições de seleção de cargas a serem transportadas, diferentes tipos de contêineres, características dos navios, rotas e respectivas programações.

O problema de reposicionamento de contêineres vazios associado à roteirização de veículos foi tratado por Song e Dong (2012) com o objetivo de minimizar os custos de entrada/saída dos portos, atrasos de entrega, armazenagem e transporte dos contêineres vazios. Myung e Moon (2014) resolveram o problema combinado de reposicionamento e compra de contêineres vazios por um modelo de fluxo em rede para determinar a quantidade de contêineres a serem comprados em cada porto, bem como a redistribuição destes entre portos.

As operações internas a terminais portuários também têm sido objeto de pesquisa no âmbito da movimentação de contêineres. Guo et al. (2011) determinaram a sequência ótima de operação de transtêineres em terminais portuários que resultasse no menor tempo de espera dos caminhões, enquanto Kaveshgar e Huynh (2015) sequenciaram as operações de transtêineres, portêineres e caminhões para aquele fim.

A partir das pesquisas descritas nesta seção é possível verificar que a proposta de modelos que auxiliam a tomada de decisão na cadeia logística de contêineres têm se concentrado nos objetivos dos armadores e terminais portuários. Assim, o modelo matemático proposto neste artigo traz uma contribuição científica no sentido de estabelecer enfoque nas decisões das empresas operadoras de terminais retroportuários, com aplicação no contexto brasileiro e potencial extensão a outros terminais no país com características operacionais análogas.

### 3. CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

#### 3.1. Operações no terminal retroportuário

O terminal retroportuário situado no município de Itapoá-SC tem infraestrutura para armazenagem de contêineres cheios e vazios que podem receber produtos secos (DRY) ou frigoríficos (REEFER), consolidação e desconsolidação de cargas, transporte rodoviário, e reparo dos contêineres do tipo REEFER.

Para garantir a oferta ao armador, o terminal de contêineres vazios (DEPOT) realiza operações de:

- Recebimento: entrada de contêineres vazios e vistoria para devolução pós-importação ou redistribuição pelo armador. Em caso de contêiner REEFER, além da vistoria estrutural ocorre inspeção e reparo de maquinário;
- Liberação: saída de contêineres vazios nas condições determinadas pelo armador para exportação, ou redistribuição de contêineres vazios;
- Reparo: manutenção da estrutura dos contêineres que chegam avariados ao terminal.

No terminal de contêineres cheios e armazém geral (Container Freight Station, CFS) podem ocorrer operações de:

- Estufagem: carregamento das cargas nos contêineres. O exportador envia a carga solta, o CFS coleta o contêiner vazio em terminal determinado pelo armador e, após estufado, é enviado ao terminal portuário para exportação;
- Desova: retirada das cargas dos contêineres. O contêiner é coletado no porto, o cliente (consignatário) é responsável por retirar a carga solta no terminal e o CFS deve devolver o contêiner vazio no terminal informado pelo armador;
- Handling: operação em que o contêiner cheio é recebido e permanece no CFS sem movimentação (estufagem ou desova) da carga.

No terminal retroportuário objeto de estudo deste artigo o DEPOT e o CFS localizam-se na mesma área e, segundo dados históricos da empresa, os custos das operações e recursos necessários para atender a demanda de contêineres vazios tendem a ser menores, porém a margem de contribuição unitária por operação em carga containerizada é maior. Por isso, a quantidade de operações e/ou tempo despendido para execução das operações escolhidas pelos gestores impacta(m) no retorno financeiro da empresa.

Apesar da percepção dos tomadores de decisão sobre essas circunstâncias, o nível de operações que maximiza a rentabilidade da empresa em um horizonte de planejamento não é conhecido. Assim, a modelagem matemática proposta neste artigo contribui para determinação da quantidade de operações por tipo de carga e tipo de contêiner que maximiza a margem de contribuição considerando os fluxos no DEPOT e no CFS.

As seguintes premissas são admitidas para estabelecer a formulação matemática proposta neste artigo:

- A limpeza de contêineres DRY é considerada reparo, equivalente a 3% do total no terminal;
- Todo contêiner REEFER passa por limpeza, caracterizada como processo diferente de reparo para este tipo de equipamento;
- Para os contêineres REEFER considera-se apenas reparo de estrutura, sem manutenção do maquinário que garante a refrigeração dos produtos;
- O contêiner é enviado para o porto no mesmo dia da estufagem;
- Não há coleta ou devolução de contêiner vazio pelo CFS no DEPOT;
- Não são analisados os processos de transporte de longa distância;
- Apenas o handling de importação é considerado, em que o contêiner é coletado no porto, armazenado no CFS e retirado pelo cliente.

### 3.2. Formulação matemática

Seja  $I = \{1,2,3\} = \{\text{Recebimento, Liberação, Reparo}\}$  o conjunto de operações realizadas no DEPOT,  $J = \{1,2\} = \{\text{DRY, REEFER}\}$  o conjunto de tipos de contêineres movimentados no DEPOT,  $K = \{1,2,3\} = \{\text{Estufagem, Desova, Handling}\}$  o conjunto de operações executadas no CFS e  $L = \{1, \dots, 12\}$  o conjunto de tipos de cargas atendidas no CFS referentes a cereais, cerâmica, alimentos, maquinário, metais, minerais, papel, plástico, couro, pneu, veículos e madeira, respectivamente.

Ainda, seja  $S = \{1,2\} = \{\text{Sem avarias, Com avarias}\}$  o conjunto que define o status dos contêineres no DEPOT,  $M = \{1,2\} = \{\text{Carga Containerizada, Carga Solta}\}$  a forma de acondicionamento da carga no CFS e  $T = \{1, \dots, t, \dots\}$  o conjunto de períodos, em meses, do horizonte de análise de receitas e despesas da empresa.

Para modelagem matemática são considerados os seguintes parâmetros do DEPOT:  $R_{ij}^{DEPOT}$ , a receita da operação  $i$  no contêiner do tipo  $j$ ;  $CV_{ij}^{DEPOT}$ , o custo variável operacional da operação  $i$  no contêiner tipo  $j$ ;  $CF^{DEPOT}$ , o custo administrativo fixo mensal para realização das operações;  $\mu^{DEPOT}$ , os impostos incidentes;  $q_{ij}^{DEPOT}$ , os movimentos necessários para a operação  $i$  no contêiner do tipo  $j$ ;  $Q^{DEPOT}$ , a capacidade mensal de movimentos de contêineres vazios; e  $E_{js}^{DEPOT,0}$ , o estoque inicial ( $t = 0$ ) de contêineres tipo  $j$  com status  $s$ .

Analogamente, são considerados os seguintes parâmetros do CFS:  $R_{kl}^{CFS}$ , a receita da operação  $k$  na carga do tipo  $l$ ;  $CV_{kl}^{CFS}$ , o custo variável operacional para a operação  $k$  na carga do

tipo  $l$ ;  $CF^{CFS}$ , o custo administrativo fixo mensal para realização das operações;  $\mu^{CFS}$ , os impostos incidentes;  $q_{kl}^{CFS}$ , os movimentos necessários para operação  $k$  na carga do tipo  $l$ ;  $Q^{CFS}$ , a capacidade mensal de movimentos de contêineres cheios;  $I_{lm}^{CFS,0}$ , o estoque inicial ( $t=0$ ) da carga  $l$  armazenada sob a forma  $m$ .

Além disso, são definidos os seguintes parâmetros auxiliares:  $\alpha_j$ , o percentual de chegada de contêineres do tipo  $j$  avariados;  $\delta_{kl}$  o tempo requerido nas operações de estufagem ( $k=1$ ) e desova ( $k=2$ ) para cada carga  $l$  no CFS;  $\delta^{total}$ , o tempo total disponível para as operações de estufagem e desova no CFS;  $CR$ , a capacidade mensal de teste de equipamentos de refrigeração e limpeza dos contêineres REEFER;  $AZ$ , a capacidade de armazenagem de carga solta (contêineres);  $RP$ , a capacidade mensal de reparo contêineres na oficina do DEPOT;  $YC$ , o estoque máximo (contêineres);  $\varphi^{in}$  e  $\varphi^{out}$ , os percentuais mínimos de entrada e saída de contêineres REEFER, respectivamente;  $\lambda_j^t$ , a demanda máxima pelo terminal portuário de contêineres do tipo  $j$  provenientes do DEPOT no período  $t$ ;  $\theta_k^t$ , o número máximo de operações que o CFS pode realizar em um período quanto às estufagens para exportações ( $k=1$ ), e desova ( $k=2$ ) e handling ( $k=3$ ) para importações no período  $t$ ; e  $\omega_k$ , o percentual de participação mínima nas operações de estufagem ( $k=1$ ) para exportação, e desova ( $k=2$ ) e handling ( $k=3$ ) para importações.

As variáveis de decisão do modelo matemático são:  $x_{ij}^t$ , o número de operações  $i$  no contêiner do tipo  $j$  no período  $t$  no DEPOT;  $y_{kl}^t$  o número de operações  $k$  realizadas na carga  $l$  no período  $t$  no CFS;  $z_{lm}^t$ , a quantidade de carga  $l$  acondicionada sob a forma  $m$  que deve chegar no CFS no período  $t$ ;  $E_{js}^{DEPOT,t}$ , o estoque de contêineres do tipo  $j$  com status  $s$  no DEPOT no período  $t$ ;  $E_{lm}^{CFS,t}$ , o estoque do produto  $l$  acondicionada sob a forma  $m$  referente no CFS no período  $t$ .

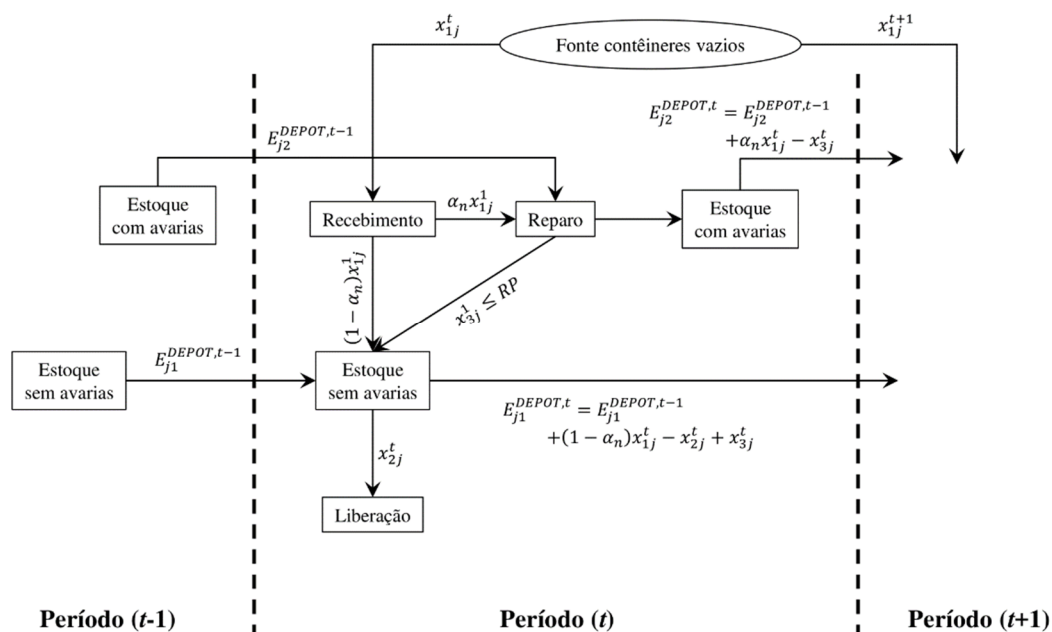


Figura 1. Fluxograma de operações no DEPOT em um período  $t$

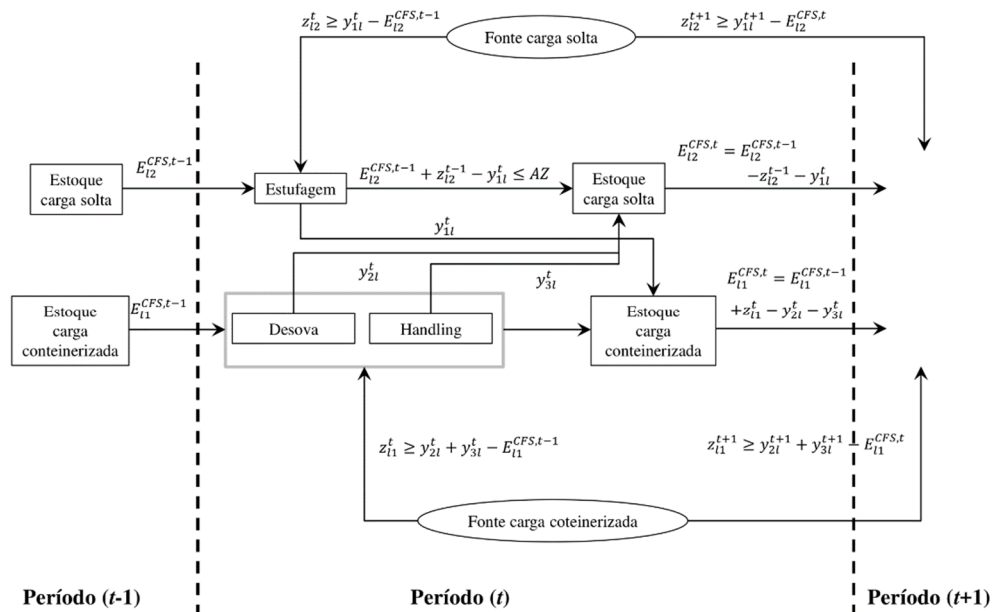


Figura 2. Fluxograma de operações no CFS em um período  $t$

A Figura 1 e a Figura 2 ilustram, respectivamente, os fluxos de contêineres e cargas no DEPOT e CFS em um dado período  $t$ , os quais são utilizados para definição do modelo apresentado nesta seção. O modelo matemático de programação linear para o problema de determinação do número de operações de contêineres no DEPOT e CFS que maximiza a margem de contribuição de um terminal retroportuário é caracterizado entre (1)-(23).

Maximizar

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} x_{ij}^t (R_{ij}^{DEPOT} - R_{ij}^{DEPOT} \mu^{DEPOT} - CV_{ij}^{DEPOT}) + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} y_{kl}^t (R_{kl}^{CFS} - R_{kl}^{CFS} \mu^{CFS} - CV_{kl}^{CFS}) - \sum_{t \in T} (CF_{adm}^{DEPOT} + CF_{adm}^{CFS}) \tag{1}$$

sujeito a

$$E_{js}^{DEPOT,t} = E_{js}^{DEPOT,t-1} + (1 - \alpha_j) x_{ij}^t - x_{i+1,j}^t + x_{i+2,j}^t \quad \forall i=1, j \in J, s=1, t \in T \tag{3}$$

$$E_{js}^{DEPOT,t} = E_{js}^{DEPOT,t-1} + \alpha_j x_{ij}^t - x_{i+2,j}^t \quad \forall i=1, j \in J, s=2, t \in T \tag{4}$$

$$x_{ij}^t \leq E_{js}^{DEPOT,t-1} + (1 - \alpha_j) x_{i-1,j}^t + x_{i+1,j}^t \quad \forall i=2, j \in J, s=1, t \in T \tag{5}$$

$$x_{ij}^t \leq E_{js}^{DEPOT,t-1} + \alpha_j x_{i-2,j}^t \quad \forall i=3, j \in J, s=2, t \in T \tag{6}$$

$$x_{ij}^t \leq CR \quad \forall i \in I, j=2, t \in T \tag{7}$$

$$x_{ij}^t \leq \lambda_j^t \quad \forall i \in I, j=2, t \in T \tag{8}$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij}^t \leq RP \quad \forall i=3, t \in T \tag{9}$$

$$x_{ij}^t \geq \varphi^{in} (x_{i,j-1}^t + x_{ij}^t) \quad \forall i=1, j=2, t \in T \tag{10}$$

$$x_{ij}^t \leq \varphi^{out} (x_{i,j-1}^t + x_{i,j}^t) \quad \forall i=2, j=2, t \in T \tag{11}$$

$$\sum_{j \in J} q_{ij}^{DEPOT} x_{ij}^t \leq Q^{DEPOT} \quad \forall i \in I, t \in T \tag{11}$$

$$E_{lm}^{CFS,t} = E_{lm}^{CFS,t-1} + z_{lm}^t - y_{kl}^t - y_{k+1,l}^t \quad \forall k = 2, l \in L, m = 1, t \in T \tag{12}$$

$$E_{lm}^{CFS,t} = E_{lm}^{CFS,t-1} + z_{lm}^t - y_{kl}^t \quad \forall k = 1, l \in L, m = 2, t \in T \tag{13}$$

$$z_{lm}^t \geq y_{kl}^t + y_{k+1,l}^t - E_{lm}^{CFS,t-1} \quad \forall k = 2, l \in L, m = 1, t \in T \tag{14}$$

$$z_{lm}^t \geq y_{kl}^t - E_{lm}^{CFS,t-1} \quad \forall k = 1, l \in L, m = 2, t \in T \tag{15}$$

$$z_{lm}^0 + E_{lm}^{CFS,t-1} - y_{kl}^t \leq AZ \quad \forall k = 1, l \in L, m = 2, t \in T \tag{16}$$

$$\sum_{l \in L} y_{kl}^t \leq \theta_k^t \quad \forall k = \{1, 3\}, t \in T \tag{17}$$

$$\sum_{k=\{2,3\}} \sum_{l \in L} y_{kl}^t \leq \sum_{k=\{2,3\}} \theta_k^t \quad \forall t \in T \tag{18}$$

$$\sum_{l \in L} y_{kl}^t \geq \omega_k \theta_k^t \quad \forall k \in K, t \in T \tag{19}$$

$$\sum_{l \in L} q_{kl}^{CFS} y_{kl}^t \leq Q^{CFS} \quad \forall k \in K, t \in T \tag{20}$$

$$\sum_{k \in \{1,2\}} \sum_{l \in L} \delta_{kl} y_{kl}^t \leq \delta^{total} \quad \forall t \in T \tag{21}$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} E_{js}^{DEPOT,t} + \sum_{l \in L} E_{lm}^{CFS,t} \leq YC \quad \forall m = 1, t \in T \tag{22}$$

$$x_{ij}^t, y_{kl}^t, z_{lm}^t, E_{js}^{DEPOT,t}, E_{lm}^{CFS,t} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, m \in M, s \in S, t \in T \tag{23}$$

A função objetivo (1) corresponde à margem de contribuição da empresa operadora do terminal retroportuário no horizonte de planejamento  $T$ . O primeiro termo corresponde à receita total decorrente das operações com os contêineres no DEPOT, subtraído dos impostos incidentes sobre essa receita e dos custos variáveis dessas operações. Analogamente, o segundo termo equivale às receitas das operações com os contêineres no CFS, subtraídos dos impostos sobre essa receita e dos custos variáveis das operações. O terceiro termo corresponde aos custos administrativos fixos totais no horizonte de análise da margem de contribuição total da empresa devido às operações no DEPOT e CFS. Por referir-se a custos independentes do número de contêineres movimentados, o resultado deste último termo é sempre constante e, portanto, do ponto de vista da modelagem matemática a solução ótima independe dele. Entretanto, tais custos foram inseridos na função objetivo para obtenção do valor final da margem de contribuição total da empresa, objeto de análise nas seções seguintes deste artigo.

As restrições (2) garantem que, para cada tipo de contêiner  $i \in I$ , o estoque sem avarias para o período  $t \in T$  seja igual ao do período anterior somado aos contêineres que chegam sem avarias e aos reparados, diminuído dos liberados. As restrições (3) estabelecem que o estoque de contêineres  $i \in I$  avariados em  $t \in T$  seja a soma do período anterior àqueles que chegaram avariados, subtraído dos reparados. As restrições (4) garantem que o número de contêineres  $i \in I$  liberados em  $t \in T$  seja menor ou igual ao de disponíveis no período. As restrições (5) impõem o reparo exclusivo de contêineres avariados.

As restrições (6) garantem que o número de REEFER recebidos não exceda a capacidade de teste de maquinário no período  $t \in T$  e que o DEPOT não libere mais REEFER do que pode lavar em  $t \in T$ . As restrições (7) impõem quantidade máxima de contêineres vazios liberados pelo



DEPOT no período  $t$  igual à quantidade mensal prevista de exportações no porto desconsiderando-se reposicionamento de contêineres. As restrições (8) impõem que não sejam reparados mais contêineres que a capacidade de reparo. As restrições (9) e (10) restringem a quantidade mínima de entrada e máxima de saída de contêineres REEFER, respectivamente. As restrições (11) associam o número de movimentos de empilhadeira necessários para a realização de cada tipo de operação no DEPOT.

As restrições (12) garantem que o estoque de carga  $l \in L$  containerizada em  $t \in T$  no CFS seja a soma do estoque no período anterior à entrada de cargas, subtraída das desovas e handlings no período. As restrições (13) caracterizam o estoque de carga solta  $l \in L$  em  $t \in T$ , acrescido da diferença entre a quantidade de carga solta que entra e o número de estufagens. As restrições (14) garantem quantidade de carga containerizada mínima para realizar as operações de desova e handling no período  $t \in T$ . As restrições (15) estabelecem a quantidade mínima de carga solta necessária para efetuar as estufagens em  $t \in T$ . As restrições (16) limitam a quantidade de carga solta à capacidade de estoque do terminal.

As restrições (17) estabelecem a quantidade de estufagens para exportação e desova para importação em função da capacidade do terminal retroportuário, e as restrições (18) limitam a quantidade de importações no terminal. As restrições (19) definem a participação mínima nas operações de exportação e importação do porto para as cargas atendidas pelo terminal retroportuário. As restrições (20) associam o número de movimentos de empilhadeira necessários para a realização de cada tipo de operação no CFS. As restrições (21) garantem que o tempo para estufagem e desova do CFS não exceda o disponível para essas operações.

As restrições (22) garantem que o número de contêineres cheios e vazios no terminal não exceda a capacidade de estoque e, finalmente, as restrições (23) estabelecem o domínio das variáveis de decisão como valores inteiros não negativos.

## 4. ESTUDO DE CASO EM ITAPOÁ-SC

### 4.1. Custos, receitas, estoques iniciais e movimentos nas operações

Esta seção descreve os valores referentes aos parâmetros considerados na aplicação do modelo matemático proposto neste artigo. Os valores monetários foram majorados por um fator comum por requisitos de sigilo da empresa e, quando não especificados de maneira diferente, referem-se às operações realizadas em Julho/2017. No DEPOT, as receitas e os custos unitários por operação  $i$  e tipo de contêiner  $j$  são apresentados na Tabela 1 tal que, no mês de referência, verificaram-se custo administrativo ( $CF^{DEPOT}$ ) de R\$ 243.278,44 e impostos ( $\mu^{DEPOT}$ ) equivalentes a 11,23% do faturamento.

A Tabela 2 apresenta as receitas e custos unitários do CFS por tipo de produto, com custo administrativo ( $CF_{adm}^{CFS}$ ) de R\$ 275.310,31 e impostos ( $\mu^C$ ) de 12,45% sobre o faturamento.

No DEPOT, em 09/10/2017, os estoques iniciais de contêineres ( $E_{js}^{DEPOT,0}$ ) foram identificados em quantidades conforme descrito na Tabela 3.

A Tabela 4 indica o estoque no CFS e tempo de operação por tipo de carga, estes definidos empiricamente e estabelecidos no modelo matemático por um valor numérico grande (9.999,00) quando inexistentes para evitar as operações de estufagem ou desova dos respectivos produtos.

**Tabela 1** – Custos e receitas unitários no DEPOT (R\$)

| Tipo de Contêiner | Custos ( $CV_{ij}^{DEPOT}$ ) |           |           | Receitas ( $R_{ij}^{DEPOT}$ ) |           |           |
|-------------------|------------------------------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------|-----------|
|                   | Recebimento                  | Liberação | Reparo    | Recebimento                   | Liberação | Reparo    |
|                   | ( $i=1$ )                    | ( $i=2$ ) | ( $i=3$ ) | ( $i=1$ )                     | ( $i=2$ ) | ( $i=3$ ) |
| DRY ( $j=1$ )     | 15,11                        | 8,18      | 127,48    | 99,75                         | 99,75     | 160,62    |
| REEFER ( $j=2$ )  | 39,66                        | 104,51    | 113,10    | 99,75                         | 213,99    | 138,20    |

**Tabela 2** – Custos e receitas unitários no CFS (R\$)

| Produto ( $l$ ) | Custos ( $CV_{kl}^{CFS}$ ) |           |           | Receita ( $R_{kl}^{CFS}$ ) |           |           |
|-----------------|----------------------------|-----------|-----------|----------------------------|-----------|-----------|
|                 | Estufagem                  | Desova    | Handling  | Estufagem                  | Desova    | Handling  |
|                 | ( $k=1$ )                  | ( $k=2$ ) | ( $k=3$ ) | ( $k=1$ )                  | ( $k=2$ ) | ( $k=3$ ) |
| Cereais (1)     | 986,69                     | -         | -         | 1.387,20                   | -         | -         |
| Cerâmica (2)    | 323,95                     | -         | -         | 1.020,00                   | -         | -         |
| Alimentos (3)   | 986,69                     | -         | -         | 1.682,59                   | -         | -         |
| Maquinário (4)  | 660,29                     | -         | 336,49    | 1.028,16                   | -         | 489,60    |
| Metais (5)      | 323,95                     | 480,79    | -         | 1.305,60                   | 1.286,02  | -         |
| Minerais (6)    | 585,24                     | -         | -         | 1.354,56                   | -         | -         |
| Papel (7)       | 459,55                     | -         | 336,49    | 701,76                     | -         | 465,12    |
| Plástico (8)    | -                          | 459,55    | -         | -                          | 979,20    | -         |
| Couro (9)       | 396,72                     | -         | -         | 1.060,80                   | -         | -         |
| Pneu (10)       | -                          | 480,79    | -         | -                          | 816,00    | -         |
| Veículos (11)   | 660,29                     | 660,29    | 336,49    | 1.615,68                   | 1.615,68  | 517,34    |
| Madeira (12)    | 585,24                     | 585,24    | -         | 1.179,94                   | 1.250,11  | -         |

**Tabela 3** – Estoque inicial no DEPOT ( $E_{js}^{DEPOT,0}$ ) por tipo de contêiner e status

| Tipo de contêiner | Status                |                    |
|-------------------|-----------------------|--------------------|
|                   | Sem avarias ( $s=1$ ) | Avariado ( $s=2$ ) |
| DRY ( $j=1$ )     | 1.279                 | 633                |
| REEFER ( $j=2$ )  | 682                   | 362                |

**Tabela 4** – Número de movimentos por operação no DEPOT ( $q_{ij}^{DEPOT}$ )

| Produto ( $l$ )                            |                          | Cereais | Cerâmica | Alimentos | Maquinário | Metais | Minerais | Papel | Plástico | Couro | Pneu | Veículos | Madeira |
|--|--------------------------|---------|----------|-----------|------------|--------|----------|-------|----------|-------|------|----------|---------|
|  |                          | (1)     | (2)      | (3)       | (4)        | (5)    | (6)      | (7)   | (8)      | (9)   | (10) | (11)     | (12)    |
| Estoque CFS<br>( $E_{lm}^{CFS,0}$ )        | Contêiner<br>( $m=1$ )   | 0       | 26       | 0         | 0          | 57     | 0        | 0     | 155      | 0     | 0    | 0        | 134     |
|  | Carga Solta<br>( $m=2$ ) | 0       | 271      | 0         | 0          | 0      | 0        | 137   | 227      | 101   | 0    | 0        | 1283    |
| Tempo Operação<br>( $\delta_{kl}$ , horas) | Estufagem<br>( $k=1$ )   | 2,45    | 1,91     | 3,26      | 1,91       | 2,45   | 3,26     | 1,91  | 0        | 1,91  | 0    | 4,08     | 2,45    |
|  | Desova<br>( $k=2$ )      | -       | -        | -         | -          | 2,45   | -        | -     | 1,09     | 0     | 0    | 4,08     | 2,45    |

O DEPOT dispõe de duas empilhadeiras de contêineres vazios (Reach Stacker) e 5 operadores em 3 turnos. Analisando a média de movimentos diários nas máquinas por operadores do período de Julho/2016 a Julho/2017 foi observada capacidade de 25.564 movimentos da máquina

por mês no DEPOT ( $Q^{DEPOT}$ ). Um movimento de máquina equivale a remover um contêiner de um local e reposicioná-lo em outro, resultando no número de movimentos por operação ( $q_{ij}^{DEPOT}$ ) apresentado na Tabela 5.

**Tabela 5** – Número de movimentos por operação no DEPOT ( $q_{ij}^{DEPOT}$ )

| Operação              | Tipo de contêiner |                  |
|-----------------------|-------------------|------------------|
|                       | DRY ( $j=1$ )     | REEFER ( $j=2$ ) |
| Recebimento ( $i=1$ ) | 1                 | 3                |
| Liberação ( $i=2$ )   | 1                 | 3                |
| Reparo ( $i=3$ )      | 2                 | 2                |

O CFS conta com 2 Reach Stackers de contêineres cheios, onde trabalha um operador em cada turno e cuja capacidade de 13.395 movimentos mensais ( $Q^{CFS}$ ) foi observada analogamente ao procedimento para o DEPOT. A quantidade de operações no CFS ( $q_{kl}^{CFS}$ ) é descrita na Tabela 6.

**Tabela 6** – Número de movimentos por operação no CFS ( $q_{kl}^{CFS}$ ) para qualquer carga  $l \in L$ .

| Operação                           | Estufagem<br>( $k=1$ ) | Desova<br>( $k=2$ ) | Handling<br>( $k=3$ ) |
|------------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Movimentos para qualquer carga $l$ | 4                      | 4                   | 2                     |

## 4.2. Caracterização de cenários

### 4.2.1. Cenário Base

Inicialmente propõe-se um “Cenário Base” com valores ilimitados de demanda em todas as operações do terminal, cujos resultados indicam a maior rentabilidade possível para a empresa. Além dos parâmetros associados aos valores monetários de receitas, custos fixos e variáveis, estoques iniciais e número de movimentos por operação no DEPOT e CFS caracterizados anteriormente, foram definidos os seguintes parâmetros com base em observações da operação do terminal retroportuário de Itapoá-SC.

O percentual médio mensal de contêineres que chegam avariados ( $\alpha_j$ ) foi estabelecido a partir de observações no período de Julho/2016 a Julho/2017, iguais a 43% para DRY e 36% para REEFER. A capacidade mensal de teste de equipamentos de refrigeração dos contêineres e de limpeza de contêineres REEFER ( $CR$ ) foi, em média, 1.958 contêineres por mês, e a capacidade mensal de reparo da oficina ( $RP$ ) foi, em média, de 2.510 contêineres mensais.

O tempo total disponível para realização das operações no CFS ( $\delta^{total}$ ) em um mês é equivalente a 1.922 horas, a capacidade de estocagem no terminal ( $YC$ ) é de 3.803 contêineres de 40 pés e a capacidade de armazenagem de carga solta ( $AZ$ ) equivale a 865 contêineres. A demanda máxima do terminal portuário para qualquer tipo de contêiner  $j$  proveniente do DEPOT no período  $t$  foi ilimitada ( $\lambda'_j = 9999$ ), o número máximo de operações que o CFS pode realizar em um período quanto às estufagens, desova e handling foi ilimitado ( $\theta'_k = 9999 \forall k \in K, t \in T$ ) e o percentual de participação mínima nas operações de estufagem, desova e handling também foi

ilimitado ( $\omega_k = 0,00 \forall k \in K$ ). Finalmente, não foram estabelecidos percentuais mínimos de entrada e saída de contêineres REEFER neste cenário, tal que  $\varphi^{in} = 0,00$  e  $\varphi^{out} = 1,00$ .

#### 4.2.2. Cenário 1

Define-se o “Cenário 1” com percentuais mínimos de entrada ( $\varphi^{in}$ ) e saída ( $\varphi^{out}$ ) de contêineres REEFER mediante a análise de dados históricos da empresa, iguais a 10% e 12%, respectivamente.

A demanda máxima pelo terminal portuário para qualquer tipo de contêiner  $j$  proveniente do DEPOT no período  $t$  ( $\lambda_j^t$ ) foi limitada às observações operacionais do terminal retroportuário entre Julho/2016 e Julho/2017 conforme a Tabela 7.

**Tabela 7** – Demanda máxima de contêineres provenientes do DEPOT pelo terminal portuário ( $\lambda_j^t$ )

| Tipo             | Período (t) |       |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|-------------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|                  | 1           | 2     | 3    | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| Dry ( $j=1$ )    | 9952        | 10530 | 9851 | 9688 | 10107 | 6327 | 5776 | 7065 | 7819 | 7404 | 4338 | 5219 |
| Reefer ( $j=2$ ) | 5017        | 5116  | 4018 | 3626 | 4976  | 4047 | 2768 | 3589 | 4029 | 2849 | 3145 | 3835 |

A partir de observações do histórico de movimentação do CFS entre Julho/2016 e Julho/2017, o número máximo de operações que poderiam ser realizadas em um período quanto à estufagem, desova e handling ( $\theta_k^t$ ) foi limitado neste cenário aos valores da Tabela 8.

**Tabela 8** – Número máximo de operações no CFS por período ( $\theta_k^t$ )

| Operação            | Período (t) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                     | 1           | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| Estufagem ( $k=1$ ) | 8775        | 9283 | 8523 | 8237 | 9006 | 9350 | 8196 | 9398 | 8316 | 8053 | 8749 | 9369 |
| Desova ( $k=2$ )    | 165         | 174  | 174  | 194  | 1150 | 900  | 641  | 520  | 121  | 146  | 154  | 132  |
| Handling ( $k=3$ )  | 165         | 174  | 174  | 194  | 402  | 402  | 402  | 402  | 121  | 146  | 154  | 132  |

Neste cenário, os percentuais de participação mínima nas operações de estufagem, desova e handling também se mantiveram ilimitados ( $\omega_k = 0,00 \forall k \in K$ ).

#### 4.2.3. Cenário 2

Tomando como base as premissas do cenário anterior, o “Cenário 2” define objetivos de participação mínima nas operações de exportação e importação do porto para as cargas atendidas pelo terminal retroportuário. Assim, nas estufagens considera-se atendimento mínimo de 20% das exportações e, nas desovas, atendimento mínimo de 4% do total de importação e, portanto, os parâmetros ( $\omega_k$ ) alteram-se para  $\{\omega_1; \omega_2; \omega_3\} = \{0,20; 0,04; 0,00\}$ .

Para garantir a factibilidade das operações no “Cenário 2” propõe-se, ainda, o aumento da capacidade operacional do CFS em uma equipe por turno, aumentando a capacidade de horas disponíveis ( $\delta^{total}$ ) para 2.624,26 horas. Considera-se, ainda, que o aumento da capacidade operacional exige a contratação de 8 funcionários com custo mensal por indivíduo de cerca

de R\$ 6.528,00, incorrendo em custos administrativos mensais ( $CF^{CFS}$ ) adicionais de R\$ 52.224,00 no CFS e resultando em valor total de R\$ 327.534,31 no período  $t$  analisado.

#### 4.2.4. Cenário 3

Para verificar a influência da capacidade de reparo da oficina de contêineres sobre as movimentações do DEPOT, propõe-se o “Cenário 3” como uma extensão do “Cenário 2” acrescido de um terceiro turno na oficina, viabilizando o reparo ( $RP$ ) de 3.765 contêineres por mês em média. Essa alteração não afeta os custos administrativos mensais do DEPOT ( $CF^{DEPOT}$ ) dado que a oficina de reparo é terceirizada, resultando apenas no aumento dos custos variáveis pelo reparo de contêineres.

#### 4.2.5. Cenário 4

O “Cenário 4” também corresponde à uma alteração do “Cenário 2” ao considerar, hipoteticamente, operações do CFS para um cliente que demanda desova de polietileno, justificada pelo aumento da receita unitária da categoria plásticos de R\$ 979,20 para R\$ 1.847,10 sem alteração do custo unitário.

Além disso, neste “Cenário 4” divide-se a commodity madeira em compensada e serrada pois aquela exige maiores cuidados e, portanto, incorre em aumento dos custos variáveis pela necessidade de maior tempo de operação. A demanda máxima foi dividida na proporção de 80% para compensada e 20% para madeira serrada, cujos custos e receitas unitárias de estufagem de madeira compensada são R\$ 522,40 e R\$ 1.305,60, e de serrada são R\$ 844,02 e R\$ 1.350,07, respectivamente. O tempo de operação para estufagem e desova de madeira compensada é igual ao da madeira como produto único, porém a serrada requer tempo adicional de 33% sobre esse valor.

#### 4.2.6. Cenário 5

Após análise dos dados de demanda prevista do porto atendido pelo terminal retroportuário, constatou-se que a madeira é a commodity de maior movimentação naquele terminal. Além disso, ao analisar apenas as commodities atendidas pelo CFS verificou-se que este produto corresponde a mais de 50% da totalidade das exportações.

Assim, propõe-se o “Cenário 5” análogo ao “Cenário 2” removendo-se porém as demandas previstas para consolidação de madeira em todo o horizonte de planejamento, com o intuito de verificar a influência da operação de estufagem daquele produto no resultado financeiro.

#### 4.2.7. Resumo dos cenários

Além dos parâmetros referentes ao DEPOT e ao CFS caracterizados na seção 4, resume-se na Tabela 9 a parametrização de cada cenário descrito para fins de aplicação do modelo matemático ao estudo de caso de um terminal retroportuário em Itapoá-SC.

**Tabela 9 –** Resumo dos parâmetros em cada cenário de aplicação do modelo matemático

| Tipo            | Parâmetro             | Cenário                            |                                    |                                    |                                    |   |                                    |
|-----------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
|                 |                       | Base                               | 1                                  | 2                                  | 3                                  | 4   | 5                                  |
| DEPOT           | $R_{ij}^{DEPOT}$      | Tabela 1                           | Tabela 1                           | Tabela 1                           | Tabela 1                           | " Cenário 2" com desova de polietileno e divisão da commodity madeira em compensada e serrada | " Cenário" 2 sem commodity madeira |
|                 | $CV_{ij}^{DEPOT}$     | Tabela 1                           | Tabela 1                           | Tabela 1                           | Tabela 1                           |   |                                    |
|                 | $CF^{DEPOT}$          | 243.278,44                         | 243.278,44                         | 243.278,44                         | 243.278,44                         |   |                                    |
|                 | $\mu^{DEPOT}$         | 11,23                              | 11,23                              | 11,23                              | 11,23                              |   |                                    |
|                 | $E_{js}^{DEPOT,0}$    | Tabela 3                           | Tabela 3                           | Tabela 3                           | Tabela 3                           |   |                                    |
|                 | $Q^{DEPOT}$           | 25.564                             | 25.564                             | 25.564                             | 25.564                             |   |                                    |
|                 | $q_{ij}^{DEPOT}$      | Tabela 5                           | Tabela 5                           | Tabela 5                           | Tabela 5                           |   |                                    |
| CFS             | $R_{kl}^{CFS}$        | Tabela 2                           | Tabela 2                           | Tabela 2                           | Tabela 2                           |   |                                    |
|                 | $CV_{kl}^{CFS}$       | Tabela 2                           | Tabela 2                           | Tabela 2                           | Tabela 2                           |   |                                    |
|                 | $CF^{CFS}$            | 275.310,31                         | 275.310,31                         | 327.534,31                         | 327.534,31                         |   |                                    |
|                 | $\mu^{CFS}$           | 12,45                              | 12,45                              | 12,45                              | 12,45                              |   |                                    |
|                 | $Q^{CFS}$             | 13.395                             | 13.395                             | 13.395                             | 13.395                             |   |                                    |
|                 | $q_{kl}^{CFS}$        | Tabela 6                           | Tabela 6                           | Tabela 6                           | Tabela 6                           |   |                                    |
|                 | $E_{lm}^{CFS,0}$      | Tabela 4                           | Tabela 4                           | Tabela 4                           | Tabela 4                           |   |                                    |
| Gerais          | $\alpha_j$            | $\alpha 1=0,43$<br>$\alpha 2=0,36$ | $\alpha 1=0,43$<br>$\alpha 2=0,36$ | $\alpha 1=0,43$<br>$\alpha 2=0,36$ | $\alpha 1=0,43$<br>$\alpha 2=0,36$ |   |                                    |
|                 | $\delta_{kl}$         | Tabela 4                           | Tabela 4                           | Tabela 4                           | Tabela 4                           |   |                                    |
|                 | $\mathcal{S}^{total}$ | 1.922                              | 1.922                              | 2.624,26                           | 2.624,26                           |   |                                    |
|                 | $CR$                  | 1.958                              | 1.958                              | 1.958                              | 1.958                              |   |                                    |
|                 | $AZ$                  | 865                                | 865                                | 865                                | 865                                |   |                                    |
|                 | $RP$                  | 2.510                              | 2.510                              | 2.510                              | 3.765                              |   |                                    |
|                 | $YC$                  | 3.803                              | 3.803                              | 3.803                              | 3.803                              |   |                                    |
|                 | $\phi^{in}$           | 0,00                               | 0,10                               | 0,10                               | 0,10                               |   |                                    |
|                 | $\phi^{out}$          | 1,00                               | 0,12                               | 0,12                               | 0,12                               |   |                                    |
|                 | $\lambda_j^t$         | 9999                               | Tabela 7                           | Tabela 7                           | Tabela 7                           |   |                                    |
|                 | $\theta_k^t$          | 9999                               | Tabela 8                           | Tabela 8                           | Tabela 8                           |   |                                    |
|                 | $\omega_k$            | $\omega 1=0,00$                    | $\omega 1=0,00$                    | $\omega 1=0,20$                    | $\omega 1=0,20$                    |   |                                    |
|                 |                       | $\omega 2=0,00$                    | $\omega 2=0,00$                    | $\omega 2=0,04$                    | $\omega 2=0,04$                    |   |                                    |
| $\omega 3=0,00$ |                       | $\omega 3=0,00$                    | $\omega 3=0,00$                    | $\omega 3=0,00$                    |                                    |   |                                    |

### 5. RESULTADOS

O modelo matemático foi implementado em linguagem Java e resolvido com o software Gurobi 8.0 em um computador Intel® Core™ i3 @ 2.40GHz 2GB RAM mediante análises no horizonte de planejamento de 12 meses.

A Tabela 10 descreve a solução ótima do modelo matemático resolvido nos cenários descritos anteriormente e os impactos no DEPOT e no CFS. Para cada cenário indicado na primeira coluna da tabela são apresentados os valores totais de margem de contribuição (valor final da

função objetivo) no horizonte de planejamento de um ano e o tempo de processamento computacional requerido para obtenção das respectivas soluções. Além desses resultados, são resumidos os principais impactos da movimentação de contêineres no DEPOT e no CFS na solução ótima do modelo quanto a cada cenário.

**Tabela 10** – Resultados dos cenários de modelagem quanto ao DEPOT e CFS

| Cenário | Margem de Contribuição (R\$/ano) | Tempo (segundos) | Impactos DEPOT  | Impactos CFS   |
|---------|----------------------------------|------------------|---|--|
| Base    | 12.459.215,15                    | 0,30             | 72% Recebimento/Liberação DRY<br>82% Reparo DRY   | 74,9% handling veículos<br>24,9% estufagem metais  |
| 1       | 6.849.255,50                     | 5,54             | 90% Recebimento/Liberação DRY<br>93% Reparo DRY<br>15% estufagem veículos                                 | 19% estufagem madeira<br>16% estufagem couro   |
| 2       | 7.770.052,61                     | 2,69             | Idem Cenário 1  | 62% estufagem madeira  |
| 3       | 9.302.343,21                     | 503,33           | +18% operações Recebimento/<br>Liberação<br>+27% reparo em DRY<br>+67% nos reparos de REEFER              | +63% operações handling  |
| 4       | 9.610.519,22                     | 94,63            | 90% Recebimento/Liberação DRY<br>90% Reparo DRY<br>Menos estufagem couro<br>Sem estufagem madeira serrada | +17% desova plásticos<br>Sem estufagens veículos<br>Sem estufagem minerais                   |
| 5       | 7.216.471,64                     | 2,82             | Idem Cenário 1  | Maior diversificação das cargas atendidas<br>Margem de contribuição 7% inferior ao Cenário 2 |

Do ponto de vista da resolução do modelo matemático foram obtidas soluções ótimas em todos os cenários (*gap* de otimalidade de 0%), em tempos de execução relativamente baixos, com valor máximo no Cenário 3 de 503,33 segundos (aproximadamente 8,4 minutos) decorrente do aumento de um turno na oficina de contêineres do DEPOT.

Quanto à margem de contribuição obtida nas respectivas soluções, o “Cenário Base” apresenta o maior valor pois não tem restrições quanto à demanda, sendo restrito apenas pela capacidade do terminal. Os resultados do “Cenário 1” e do “Cenário 2” mantiveram-se iguais em termos de operações no DEPOT, com aumento de 62% na estufagem de madeira daquele para este. Por outro lado, entre o “Cenário 2” e o “Cenário 3” observa-se aumento de 27% e 67% na quantidade de contêineres DRY e REEFER reparados, respectivamente, além do aumento de 18% nas operações de recebimento e liberação de contêineres, indicando o impacto positivo do aumento de um turno na oficina do DEPOT.

Por outro lado, o “Cenário 4” resulta na maior margem de contribuição após o Cenário Base ao serem consideradas restrições operacionais, viabilizando a entrada de novo cliente na carteira da empresa ao segregar a madeira em dois tipos de produtos, demonstrando, ainda, a maior rentabilidade da madeira compensada sobre a serrada. Os resultados obtidos no “Cenário 5” indicam manutenção de todas as proporções de operações por tipo de equipamento no DEPOT análogas ao Cenário 1. Entretanto, quanto ao CFS, houve maior diversificação de cargas atendidas em detrimento de operações majoritárias de estufagem de madeira.

As quantidades anuais de operações por tipo de contêiner e cargas para cada cenário são apresentadas na Figura 3 e Figura 4 para o DEPOT e CFS, respectivamente.

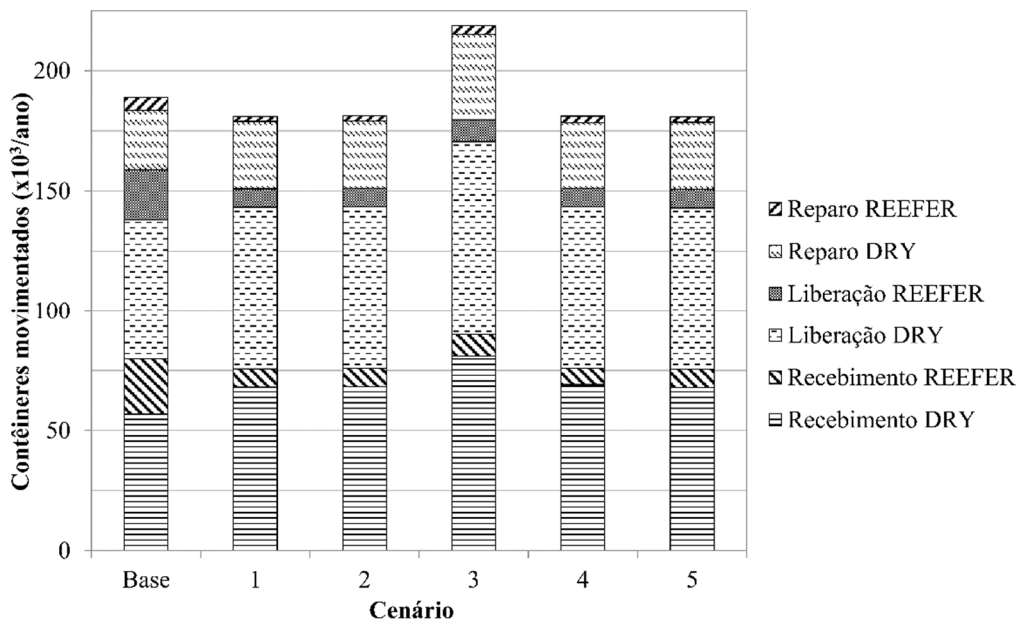


Figura 3. Quantidade anual de operações no DEPOT

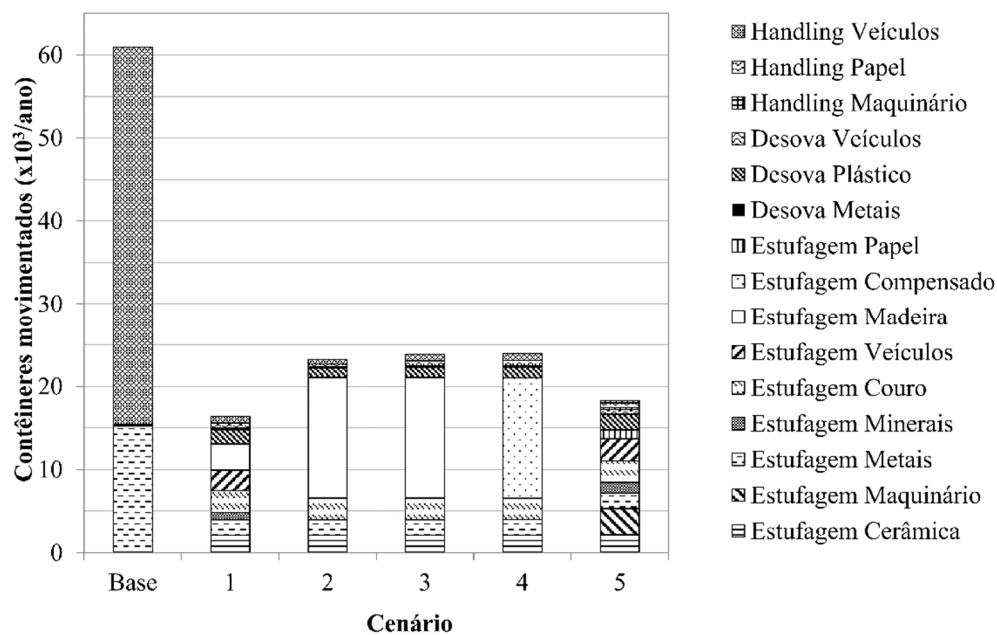


Figura 4. Quantidade anual de operações no CFS

No DEPOT constata-se a predominância de operações de recebimento, liberação e reparo de contêineres do tipo DRY, porém com menor quantidade absoluta no “Cenário 4” em comparação com o “Cenário 3”. Entretanto, os níveis de operação naquele cenário aproximam-se do “Cenário Base”, porém com redução nas proporções das operações principalmente de recebimento, liberação e reparo de REEFER.

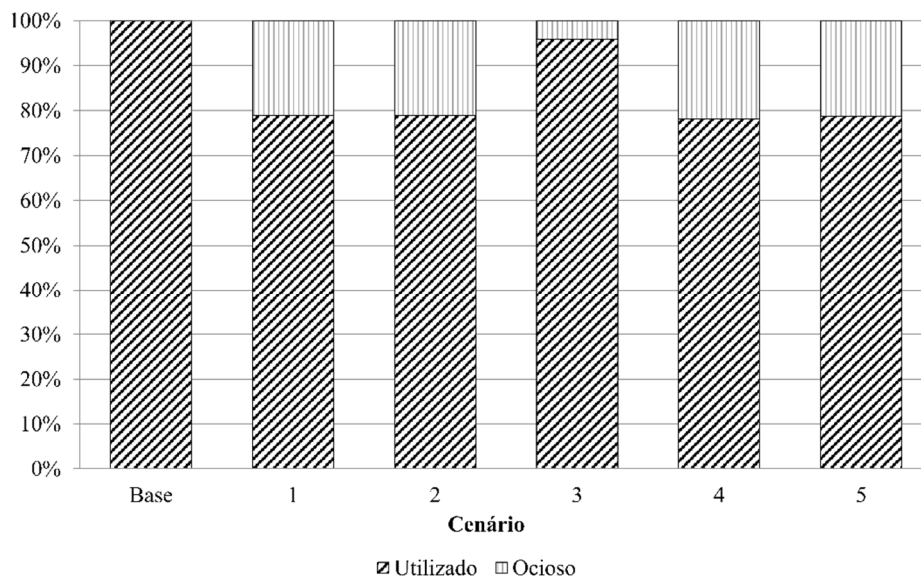
No CFS observa-se que o “Cenário 4”, de maior margem de contribuição quando consideradas restrições de demanda, incorre em expressivo aumento de estufagem de madeira tipo compensada quando comparado ao “Cenário Base”, como consequência da desagregação daquele material.



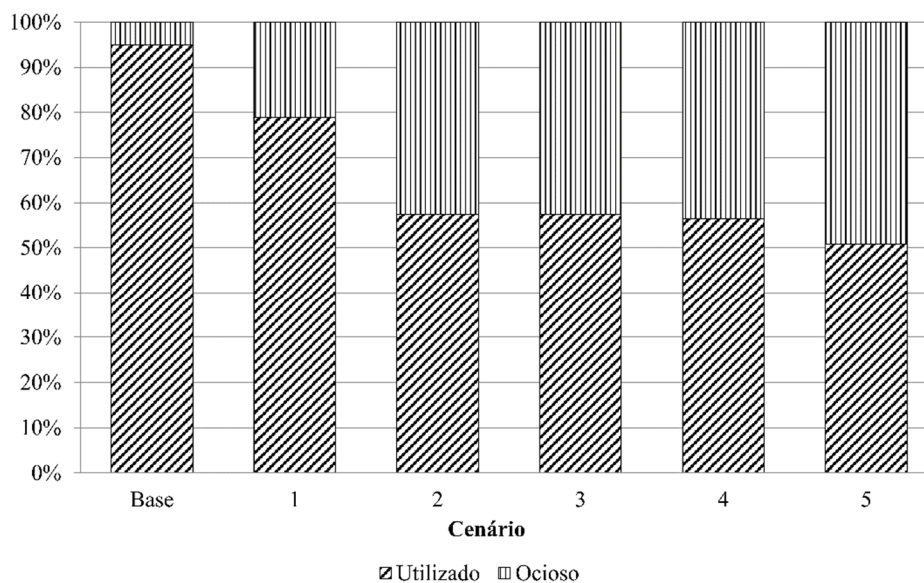
O gráfico denota as principais cargas que a empresa deve movimentar para maximizar a margem de contribuição em função das restrições de cada cenário: madeira, cerâmica, metais e maquinário.

### 5.1. Utilização dos Recursos

Os resultados do modelo matemático resolvido sob as condições dos cenários viabilizaram a comparação da utilização dos recursos no DEPOT e no CFS. A Figura 5 apresenta a porcentagem de utilização dos recursos do DEPOT em movimentos de Reach Stacker em cada cenário quanto à capacidade de 25.564 movimentos desse equipamento. Analogamente, a Figura 6 representa o percentual de utilização dos recursos do CFS em cada cenário, em movimentos de empilhadeira, quanto à capacidade de 13.395 movimentos mensais desse equipamento.



**Figura 5.** Percentual de utilização dos recursos no DEPOT (movimentos de Reach Stacker) quanto à capacidade de 25.564 movimentos.



**Figura 6.** Percentual de utilização dos recursos no CFS (movimentos de empilhadeira) quanto à capacidade de 13.395 movimentos.

A Figura 5 indica que, seguido do “Cenário Base” sem restrição de demanda, o “Cenário 3” foi aquele que resultou na maior utilização dos recursos no DEPOT, indicando que o aumento da capacidade de reparo da oficina impacta no número de operações realizadas e, conseqüentemente, na margem de contribuição da empresa. O “Cenário 1”, “Cenário 2”, “Cenário 4” e “Cenário 5” apresentaram percentual de utilização dos equipamentos de movimentação no DEPOT praticamente iguais, abaixo de 80% da capacidade.

Quanto ao CFS (Figura 6), à exceção do “Cenário Base” e do “Cenário 1”, menos de 60% da capacidade de movimentos da empilhadeira no CFS foi utilizada. Cabe salientar que o aumento da equipe no CFS a partir do “Cenário 2” resultou em maior ociosidade de equipamento que o “Cenário 1”, porém a maior margem de contribuição naqueles cenários evidencia que o aumento da equipe possibilita melhor uso da empilhadeira e aumento do retorno da empresa.

## 6. CONCLUSÕES

Este artigo descreve um modelo matemático para determinar o número ótimo de operações que maximiza a margem de contribuição de uma empresa operadora de um terminal retroportuário de contêineres no município de Itapoá-SC, mediante diferentes cenários operacionais, restrições de capacidade e demanda por produtos específicos.

A margem de contribuição máxima da empresa de R\$ 12.459.215,15 ao ano é obtida quando não há restrição de demanda por produtos específicos, mas apenas de capacidade da instalação. A segunda maior margem de contribuição anual obtida foi de R\$ 9.610.519,22 ao considerar premissas de demanda específicas, a entrada de um novo cliente e divisão da commodity madeira em serrada e compensada, sendo este o material mais rentável. O terceiro cenário de maior margem de contribuição (R\$ 9.302.343,21/ano) refere-se ao aumento de um turno na oficina de reparo de contêineres do terminal.

Além de determinar a margem de contribuição e os respectivos produtos a serem movimentados, o modelo proposto permite sugerir os tipos de operações que a empresa deve realizar para maximizar sua margem de contribuição, norteando-a sobre clientes a serem prospectados.

Potenciais trabalhos futuros desenvolvidos a partir do modelo matemático proposto podem envolver a sua vinculação ao Sistema de Suporte à Decisão de um terminal retroportuário considerando horizonte de planejamento mensal sob aspecto operacional, em que as decisões sejam diárias quanto à movimentação de contêineres. Além disso, a implementação de um modelo de simulação computacional para caracterização dos movimentos dos equipamentos (Reach Stacker no DEPOT e empilhadeiras no CFS) pode viabilizar a tomada de decisão quanto ao uso do espaço físico do terminal retroportuário.

Adicionalmente, alterações do modelo matemático poderiam abranger interações entre as operações do DEPOT e do CFS. Por exemplo, ao realizar a estufagem no CFS seria possível considerar a utilização de contêineres vazios do DEPOT, ao invés de apenas coletá-los em outro terminal de vazios. Esta interação diminuiria os movimentos de Reach Stacker e o fluxo de caminhões no pátio, reduzindo os custos incidentes na margem de contribuição

## REFERÊNCIAS

- Bandeira, D. L. (2005) Alocação e movimentação de contêineres vazios e cheios: um modelo integrado e sua aplicação. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bontekoning, Y. M.; C. Macharis e J. J. Trip (2004) Is a new applied transportation research field emerging? A review of inter-modal rail-truck freight transport literature. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 38, n.1, p. 1–34. DOI: 10.1016/j.tra.2003.06.001.

- Braekers, K.; A. Caris e G. K. Janssens (2014) Bi-objective optimization of drayage operations in the service area of intermodal terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*, v. 65, p. 50–69. DOI: 10.1016/j.tre.2013.12.012.
- Caris, A. e G. K. Janssens (2009) A local search heuristic for the pre-and end-haulage of intermodal container terminals. *Computers & Operations Research*, v. 36, n. 10, p. 2763–2772. DOI: 10.1016/j.cor.2008.12.007.
- Chou, C. -C.; R. -H. Gou; C. -L. Tsai; M. -C. Tsou; C. -P. Wong e H. -L. Yu (2010) Application of a mixed fuzzy decision making and optimization programming model to the empty container allocation. *Applied Soft Computing*, v. 10, n. 4, p. 1071–1079. DOI: 10.1016/j.asoc.2010.05.008.
- Costa, G. A. A. (2006) Modelo de margem de contribuição aplicado ao planejamento de marketing no transporte marítimo regular de contêineres. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. DOI: 10.11606/D.3.2006.tde-18092006-174148.
- Dong, J.-X. e D. -P. Song (2009) Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*, v. 45, n. 6, p. 860–877. DOI: 10.1016/j.tre.2009.05.001.
- Funke, J. e H. Kopfer (2015). A neighborhood search for a multi-size container transportation problem. *IFAC-PapersOnLine*, v. 48, n. 3, p. 2041–2046. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.389.
- Guo, X.; S. Y. Huang; W. J. Hsu e M. Y. H. Low (2011) Dynamic yard crane dispatching in container terminals with predicted vehicle arrival information. *Advanced Engineering Informatics*, v. 25, n. 3, p. 472–484. DOI: 10.1016/j.aei.2011.02.002.
- Jeevan, J.; N. Salleh; K. Loke e A. Saharuddin (2017) Preparation of dry ports for a competitive environment in the container seaport system: A process benchmarking approach. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy* v. 7, n. 3, p. 19–33. DOI: 10.1016/j.enavi.2017.06.003.
- Kaveshgar, N. e N. Huynh (2015) Integrated quay crane and yard truck scheduling for unloading inbound containers. *International Journal of Production Economics*, v. 159, p. 168–177. DOI 10.1016/j.ijpe.2014.09.028.
- Laptaned, U. (2007). Developing Inland Container Depot for the Indo-China Intersection Logistics Center: Case Study of Phitsanulok Province. In *2nd International Conference on Operations and Supply Chain Management*, p. 389–396.
- Lee, C.-Y. e Q. Meng (2015) *Handbook of Ocean Container Transport Logistics: Making Global Supply Chains Effective*, v. 220. Springer, Nova Iorque. DOI: 10.1007/978-3-319-11891-8.
- Myung, Y.-S. e E. I. Moon (2014) A network flow model for the optimal allocation of both foldable and standard containers. *Operations Research Letters*, v. 42, n. 6, p. 484–488. DOI: 10.1016/j.orl.2014.08.004.
- Shiri, S. e N. Huynh (2016) Optimization of drayage operations with time-window constraints. *International Journal of Production Economics*, v. 176, p. 7–20. DOI: 10.1016/j.ijpe.2016.03.005.
- Song, D.-P. e J. -X. Dong (2012) Cargo routing and empty container repositioning in multiple shipping service routes. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 46, n. 10, p. 1556–1575. DOI: 10.1016/j.trb.2012.08.003.
- Sterzik, S. e H. Kopfer (2013) A tabu search heuristic for the inland container transportation problem. *Computers & Operations Research*, v. 40, n. 4, p. 953–962. DOI: 10.1016/j.cor.2012.11.015.
- Teixeira, R. B. e C. B. Cunha (2012) Modelo integrado de seleção de cargas e reposicionamento de contêineres vazios no transporte marítimo. *TRANSPORTES*, v. 20, n.1, p. 59–70. DOI: 10.4237/transportes.v20i1.442.
- Zain, R. M.; M. N. A. Rahman; N. Saibani; Z. M. Nopiah; A. Ramili e N. Jusoh (2015) Exploring the delays at empty container off-dock depots: useful perceptions by stakeholders. *Management*, v. 5, n. 5, p. 148-159. DOI: <https://doi.org/10.5923/j.mm.20150505.02>.
- Zhang, R.; W. Y. Yun e I. Moon (2009) A reactive tabu search algorithm for the multi-depot container truck transportation problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 45, n. 6, p. 904– 914. DOI: 10.1016/j.tre.2009.04.012.