Modelo de Algoritmo Heurístico Proposto para o Problema de Carregamento de Container

Edward Seabra Júnior (UTFPR-Câmpus Medianeira) seabra.edward@gmail.com
Daniel Marcos Dal Pozzo (UTFPR-Câmpus Medianeira) danielpozzo@utfpr.edu.br
Paulo Roberto Vergopolan (UTFPR-Câmpus Medianeira) pr.vergopolan@gmail.com
Mônica Cristina Lunkes da Rosa (UTFPR-Câmpus Medianeira) monica.cristina.seg@hotmail.com

Resumo:
O problema de carregamento de Container consiste em carregar um número conhecido de caixas de tipos diferentes e dimensões conhecidas dentro de um Container, de modo a maximizar seu espaço da melhor maneira possível, entretanto a característica principal do problema evidência a dificuldade em usar métodos de soluções exatos ou que deem propostas exatas devido à complexidade e das n-variáveis que o problema sugere, assim métodos metaheurísticos como o GRASP são utilizados de forma a procurar uma melhor solução viável ao problema. O método do Container neste caso utilizou uma Heurística baseada na de George e Robinson (1980) e suas melhorias como estudo do problema. Para este modelo foram definidas as dimensões do Container próximas ao modelo de Container Dry box de 20 pés, obtendo o resultado esperado do problema hipotético aplicado, com alocação de 275 caixas correspondendo 92,40% do volume total do Container.
Palavras chave: Otimização, Empacotamento, Camadas.

Simulation of a attendance process of a small bakery: a case study

Abstract:
The problem of loading Container is to load a known number of boxes of different types and known dimensions inside a Container, in order to maximize its space in the best possible way, however the main characteristic of the problem evidences the difficulty in using methods of solutions exact or exact proposals due to the complexity and n-variables that the problem suggests, so metaheuristic methods such as GRASP are used in order to find a better solution to the problem. The Container method in this case used a Heuristic based on that of George and Robinson (1980) and its improvements as study of the problem. For this model the Container dimensions were defined next to the model of Container Dry box of 20 feet, obtaining the expected result of the hypothetical problem applied, with allocation of 275 boxes corresponding to 92.40% of the total Container volume.
Key-words: Optimization, Packaging, Layers.

1. Introdução

Segundo Oliveira (2009) e Vendramini (2007) o Problema de Carregamento de Container ou PCC é um problema usual em pesquisa operacional, ele se encontra entre as questões envolvendo carga completa e a forma como é feito o armazenamento, podendo ser feito com somente um modelo de Container (Problema Knapsack) ou mais de um (Problema Bin – Packing).

A criação do Container revolucionou o transporte de mercadorias, desde que foi introduzido, por volta da década de 60, o volume de mercadorias transportadas por Container aumentou ao

ponto de ser considerado um dos principais meios de transporte. (TALEB-IBRAHIMI, DE CASTILHO E DAGANZO, 1993).

De acordo com Pereira *et. al.* (2013) um Container é uma caixa de carga que pode ser feito de material de alumínio, fibra ou aço que tem por objetivo reunir em um só volume as mercadorias, devendo ser resistente ao uso constante.

A vantagem do uso do Container consiste em padronização do carregamento, diminuição de avarias, roubos de mercadoria e minimizar o tempo de operação de embarque e desembarque, em contrapartida possuem problemas relacionados a decisão entre propriedade ou direitos sobre o próprio Container, reposicionamento de Container já liberados, gerenciamento e dimensionamento da frota o que pode tornar alto os custos na sua aquisição, transporte e manutenção, o que resulta a sua gestão um ponto de alta relevância (DEJAX E CRAINIC, 1987).

O transporte deve ser bem planejado, pois o valor é cobrado por container e não por volume carregado, se não for feito adequadamente pode implicar no valor final da própria mercadoria transportada, por isso o PCC é uma ferramenta de grande utilidade, já que tem por objetivo maximizar o volume ocupado no carregamento (VENDRAMINI, 2007).

De acordo com Morabito e Arenales (2018) o PCC consiste em alocar um número de caixas de diferentes dimensões conhecidas com o objetivo de otimizar o espaço disponível, respeitando alguns princípios como, por exemplo, que o carregamento deva respeitar o limite de tamanho do próprio Container, dois objetos não podem ocupar o mesmo espaço, estabilidade do carregamento, entre outros.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é obter um modelo de um algoritmo heurístico proposto para o problema de acondicionamento de caixas de diferentes dimensões em um Container, com a finalidade de testar o programa e verificar se o mesmo dará o resultado esperado.

1.1 Fundamentação teórica

Em sua história, o Problema de Carregamento de Container possui diversos ramos de métodos de solução para cada situação ou estudo e poucas formas exatas de resolver da melhor forma a utilizar todo o volume de um Container para meios de transporte. O início dos estudos especializados em 1980 por George e Robinson permitiu que próximas melhorias pudessem ser desenvolvidas para o problema do carregamento do Container em prol de uma solução sempre otimizada.

Segundo UTIDA (2012) e Vendramini (2007) o PCC possui um teor extremamente complexo e é classificado como um problema NP-Difícil e, portanto, muito complexo de ser resolvido de forma exata usando um modelo matemático de programação inteira e pacotes comerciais de otimização baseados em técnicas tipo branch and bound, além de ser considerado do tipo NP-Complete, pesquisas e estudos foram desenvolvidas para entender como resolver da melhor maneira possível o problema em questão, em 1980 George e Robinson apresentaram uma heurística com uma solução possível aonde se estabelece camadas a serem preenchidas nas quantidades de caixas que entrariam no Container e assim obtendo um máximo aproveitamento possível de seu tamanho e volume.

Por não se tratar de algo trivial, fatores como várias restrições com relação ao empilhamento de cargas, pesos, restrições dimensionais, centro de gravidade, quanto à orientação do posicionamento das cargas, valores monetários e outros, dificultam a determinação de uma solução ótima. A solução do problema é extremamente difícil de ser encontrada

analiticamente, e, em termos computacionais, é pouco provável que exista um algoritmo de baixa complexidade, com base em uma abordagem matemática e determinística (VENDRAMINI, 2007).

Outra característica do PCC são as cargas alocadas podendo ser definidas como homogêneas, somente um tipo de caixa, ou heterogêneas fracas, poucos modelos mas com alta quantidade de cada um, ou as fortemente heterogêneas, muitos modelos com pouca quantidade de cada um (OLIVEIRA, 2009).

A literatura voltada somente a este problema é escassa devido ao recente estudo e junto a falta de interesse de desenvolver um algoritmo ou método que solucione, de forma generalizada, os problemas em relação a Container que há nos meios de transporte.

A metaheurística do tipo Branch and Bound é a mais recente e desenvolve de forma otimizada este problema, entretanto ao longo dos anos houve outras pesquisas aonde se desenvolveram de maneira a aprimorar o estudo iniciado por George e Robinson. Segundo UTIDA (2012), a maioria das heurísticas encontra soluções de boa qualidade de problemas altamente complexos em tempos computacionais relativamente rápidos.

1.1.1 algoritmo heurístico George e Robinson

O PCC foi difundido por George e Robinson de forma a entender e regrar as variáveis que compõem o problema em si, as caixas foram colocadas como abertas (já utilizadas) e fechadas (não utilizadas) e o carregamento se daria por camadas e níveis.

É considerado primeiramente o tipo de caixa a ser carregado e assim o número de caixas (**i**) que tem largura x altura x comprimento próprios em relação as medidas do Container que são LxWxH. O Container é preenchido camada por camada e uma nova camada só é criada quando a camada atual estiver carregada (CECILIO, 2003). Segundo Utida (2012) a heurística de George e Robinson é resumida em 5 etapas onde cada etapa através de perguntas pré-estabelecidas e matrizes que encaixam cada etapa de forma que no final tenha utilizado todo o espaço possível que compõe o Container e assim obter uma solução viável ao problema.

1ª etapa: Achar o primeiro tipo de caixa a ser carregado em uma nova camada e o tamanho da profundidade da camada; **2ª etapa**: Definir a altura e a largura da caixa que será utilizada e a quantidade de caixas carregadas; **3ª etapa**: Criar novos espaços de carregamento; **4ª etapa**: Escolher o novo espaço de carregamento; **5ª etapa**: Achar o tipo de caixa para preencher os espaços vazios já existentes nas camadas e o tamanho da profundidade.

Ainda segundo UTIDA (2012) a heurística considera somente restrições geométricas do problema pois não são feitas restrições ao número de caixas que podem ser empilhadas umas sobre as outras, nem sobre qual lado das caixas deve ficar voltada para cima.

Em relação a decisão da caixa, há 3 passos seguidos de uma tabela para explanação da decisão, segundo UTIDA (2012) o ranqueamento das caixas pode ser feito da seguinte maneira: 1 - Escolhe, entre as menores dimensões, o tipo de caixa com a maior dimensão, ou seja, seleciona a menor dimensão entre o comprimento, largura e altura de cada tipo de caixa e dentro dessa lista (das caixas de menor dimensão), escolhe o tipo de caixa que tiver maior dimensão. 2. Havendo empate neste critério, escolhe o tipo de caixa de maior quantidade. 3. Como último critério de desempate, escolhe o tipo de caixa com maior dimensão.

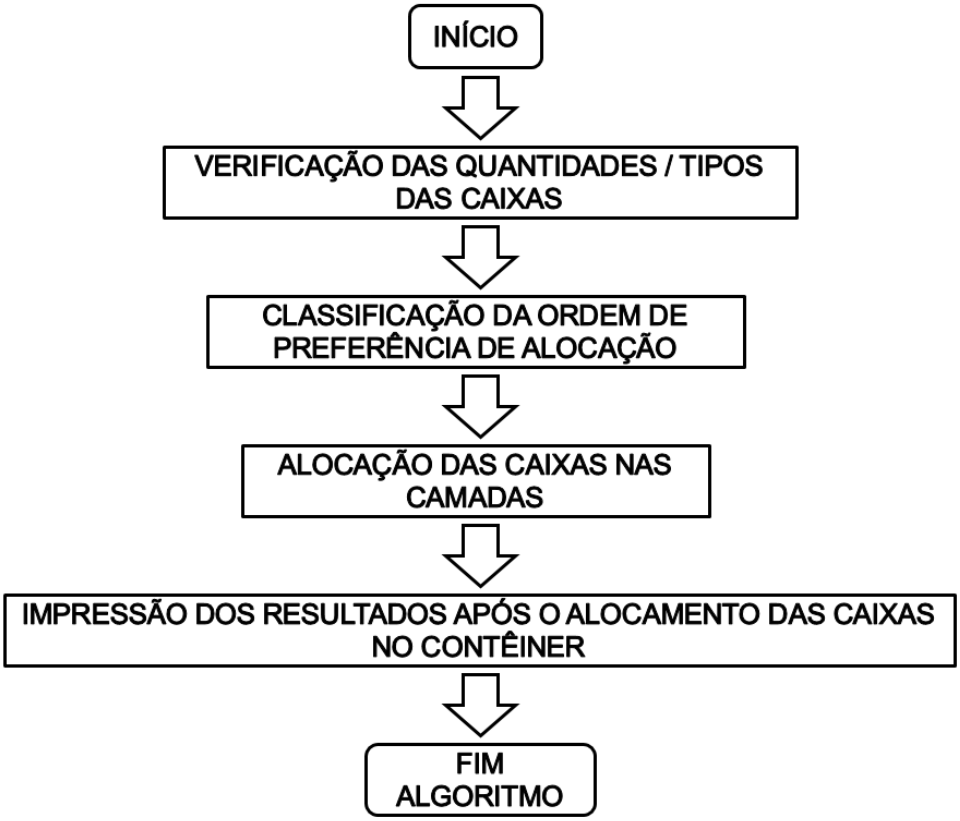
A heurística de George e Robinson (1980) acaba dando início aos desenvolvimentos de novos métodos a serem estudos ou aprimorados

2. Metodologia

O algoritmo desenvolvido foi baseado no Algoritmo de George e Robinson aplicado ao problema do Container, buscando realizar a alocação de caixas de maneira otimizada, ou seja, efetuar a maior alocação de caixas no Container de forma a atender todas as condições e limitações impostas ao problema.

Na figura 1 é apresentado o fluxograma de todo o processo de funcionamento do algoritmo e suas etapas realizadas desde seu início até o fim.

Figura 1 – Sistema geral do funcionamento do algoritmo heurístico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O carregamento do Container é realizado em camadas e em blocos, ou seja, o comprimento total do Container foi dividido em partes iguais formando as camadas. Já o bloco é formado pela quantidade de caixas que conseguimos alocar na sua largura, que para este modelo proposto são 5 caixas, pois todos os tipos de caixas têm largura de 50 cm e a dimensão total do Container tem valor de 250 cm, facilitando assim o cálculo dos blocos com o valor constante.

A dimensão da camada é definida pela caixa que possui o maior comprimento a ser alocada e seu valor é o mesmo que o comprimento desta caixa.

Antes de iniciarmos a simulação de alocação das caixas é necessário verificarmos: quais as quantidades de caixas, suas dimensões (definindo assim quantos tipos de caixas diferente temos), quais as dimensões do espaço interno do Container e a ordem de alocação de caixas (definindo assim qual caixa deve ser alocada primeiro e assim por diante).

Para este modelo foram definidas as dimensões do Container próximas ao modelo de Container Dry box de 20 pés sendo de 600x250x250 cm, sendo comprimento, largura e altura respectivamente, buscando assim elaborar um modelo próximo a realidade e facilitando o desenvolvimento da simulação do modelo proposto, quanto as caixas foram definidas apenas três caixas diferentes e quantidades aleatórias para cada modelo, conforme a tabela abaixo:

Tabela 2 – Dimensões e quantidades de caixas a ser alocadas.

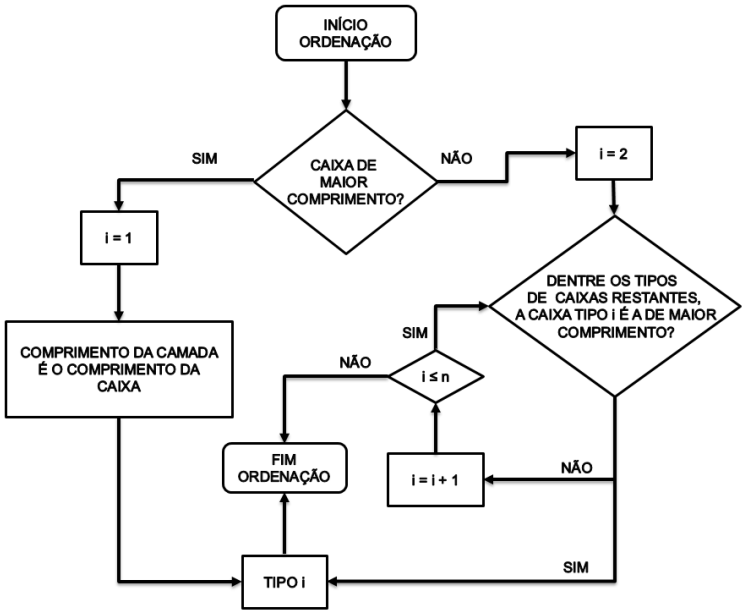
Caixa	Quantidade (und.)	Dimensões (cm)		
		Comprimento	Largura	Altura
A	120	60	50	40
B	35	120	50	50
C	200	50	50	30

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Após a verificação das dimensões, o algoritmo realiza a ordenação das caixas para definir qual caixa deve ser alocada por primeiro. Para realizar esta ordenação são realizados testes de comparação entre o comprimento das caixas e realizando o ranqueamento das caixas, sendo que a caixa de maior comprimento deve ser alocada primeiro do que as de menor comprimento. Se caso houvesse empate para esta condição, o critério de desempate seria o modelo de caixa com maior quantidade, sendo que o tipo de caixa com mais unidades deve ser alocado primeiro na camada. Para este modelo obtemos a seguinte ordem de alocação das caixas. Tipo 1 – Caixa B; Tipo 2 – Caixa A; Tipo 3 – Caixa C.

A figura 2 representa, no formato de fluxograma, os testes lógicos realizados no algoritmo para o ranqueamento das caixas a serem alocadas.

Figura 2 – Esquematização da seleção do tipo das caixas a serem alocadas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

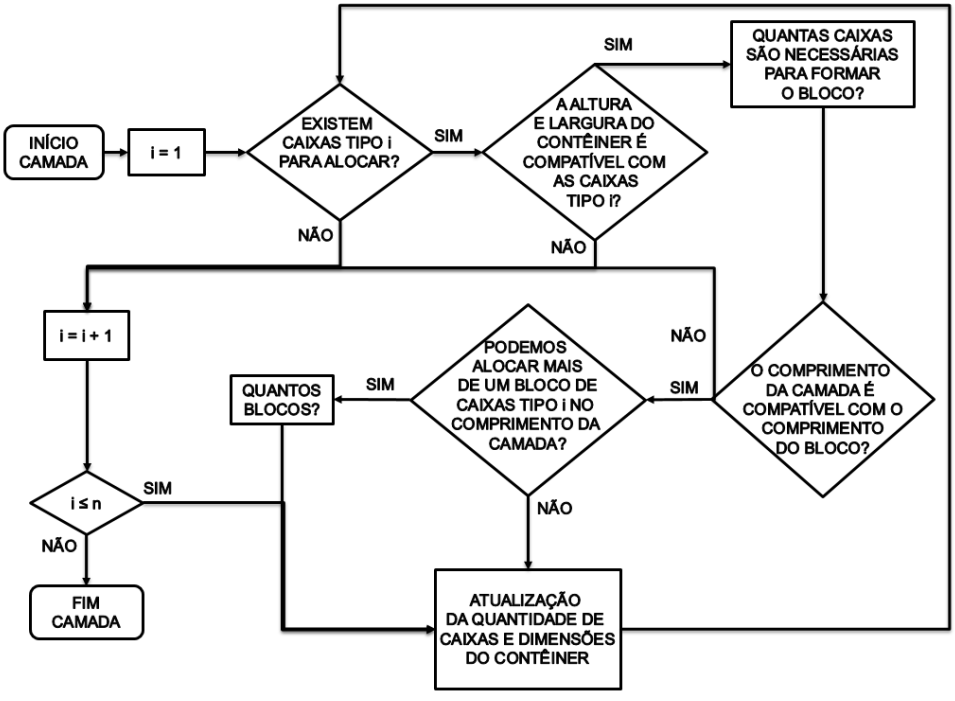
A variável i disposta na figura 2 é a representação do ranking (1,2,3, ..., n) sendo que a caixa tipo 1 deve ser alocada primeiro que a caixa tipo 2 e a tipo 3 deve vir após a caixa tipo 2 e assim sucessivamente até que seja realizado os testes com os n tipo de caixas.
A alocação das caixas no Container é realizada camada por camada, basicamente são realizadas iterações das caixas com as dimensões do Container através de testes lógicos.

Primeiramente é iniciado uma nova camada no Container, esta dimensão é definida pela caixa de maior comprimento que está disposta a alocar. Feito isto é iniciado os testes lógicos com a caixa que deve ser alocada primeiro (Tipo 1), após realização dos testes lógicos para este tipo de caixa, iniciamos os testes com o próximo modelo de caixa (Tipo 2) e assim sucessivamente até que seja realizada as iterações para todos os modelos dispostos. Após a alocação de caixas na primeira camada do Container, é feito uma verificação de abertura de uma nova camada no Container, se for aberta uma nova camada iniciamos o processo de alocação de caixas de maneira idêntica com o realizado para a alocação de caixas na camada anterior. Este processo se repetirá até que não seja mais possível a abertura de uma nova camada para alocação de caixas, ou seja, o comprimento da camada é maior que o comprimento restante do Container, se a camada não é completamente fechada com o primeiro tipo de caixa alocada se faz um comparativo da altura restante da camada com o próximo tipo de caixa que será alocado, se há espaço para alocação do próximo tipo de caixa ela será inserida na camada, mas na próxima camada será novamente feito o comparativo do comprimento com os tipos de caixas restantes e será alocada a caixa de maior comprimento, se ainda possuir quantidades, se não será continuado a alocação da próxima caixa.

Para este modelo desenvolvido, o comprimento do Container coincide com a abertura de 5 camadas de 120 cm.

A figura 3 é a representação do fluxograma do processo de alocação das caixas na camada contendo os seus testes lógicos realizados no decorrer do processo e suas operações.

Figura 3 – Esquematização de alocação nas caixas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Da mesma forma que a figura anterior, as variáveis i representam o ranking dos tipos de caixa a serem alocadas e a variável n representa quantos tipos de caixa temos dispostos para o problema.

Neste fluxograma notamos que primeiramente é realizada a formação do bloco de caixa, que é basicamente quantas caixas são necessárias para formar um plano nas dimensões de altura e largura do Container. Após isso é realizado a verificação de quantos blocos podem constituir a camada levando em consideração o comprimento da caixa. E posteriormente é iniciado o empilhamento e alocação dos blocos na camada gerada.

Se durante a realização dos testes lógicos para a alocação de caixas não obtermos a resposta esperada para que ocorra a alocação das caixas daquele tipo, o algoritmo passa a realizar o teste com o próximo modelo e este modelo é o próximo do que foi testado por último e que foi definido no processo ordenação para alocação de caixas.

3. Resultados e discussão

Após a simulação de alocação do algoritmo obtivemos os resultados dentro do esperado obtendo a maximização do problema do Container, no total foram alocadas 275 caixas com um volume de 34 650 000cm³ no total representando um espaço preenchido de 92,40%, tendo sobras de 70 unidades da caixa C, os espaços não preenchidos totalizaram um volume de 2.850.000 cm³.

A solução do algoritmo se divide em 5 camadas sendo seu comprimento de base referente a caixa de maior comprimento, que nesse caso seria a caixa tipo B com 120 cm. Realizando a execução do algoritmo pelo programa computacional obtemos um tempo de execução de 3,664 segundos do programa.

O algoritmo desenvolvido possui algumas restrições de funcionamento pois não possibilita a rotação das caixas e leva em consideração que todas as caixas possuem a mesma largura sendo a mesma definida para o tamanho dos blocos, o que pode ser estudado e melhorado afim de se obter uma solução melhor do que a obtida, buscando minimizar ainda mais espaços ociosos e aumentar a quantidade de caixas carregadas (Figura 4).

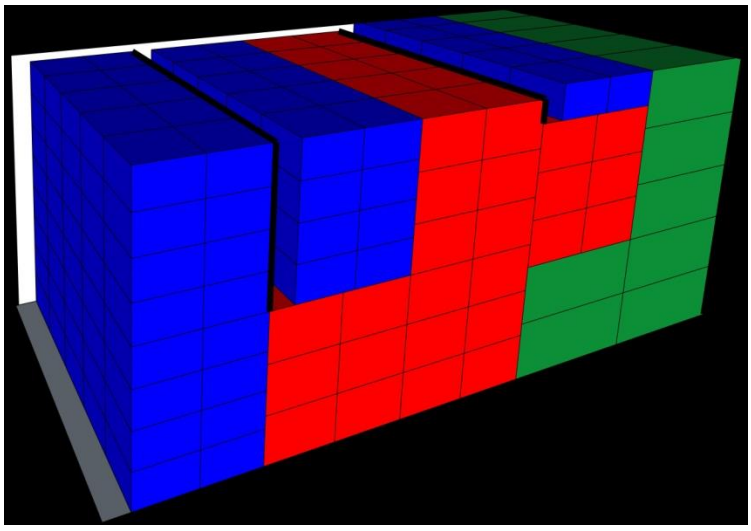


Figura 4 - Representação gráfica do Container carregado conforme a proposição de carregamento do algoritmo heurístico desenvolvido.

4. Considerações finais

O desenvolvimento do modelo do algoritmo heurístico apresentado é vantajoso e com a obtenção do resultado esperado em um problema hipotético mostra a possibilidade de ser aperfeiçoado o mesmo para que possa ser empregado outros tipos de restrições, como por exemplo, ordem de descarregamento, valor do produto, centro de gravidade e entre outros.

O modelo estudado pode servir como base para o desenvolvimento de um sistema para carregamento de Container.

A sua lógica nas operações e etapas do processo de funcionamento pode ser aplicado a qualquer problema de empacotamento de caixas em espaços tridimensionais com formato de hexaedro, desde que tenha suas dimensões bem definidas.

Ele é bastante limitado quanto a restrições envolvidas, tipos de caixas, tamanho de Container, pois todos os valores apresentados foram inseridos juntamente com a programação do algoritmo, pois se trata de um modelo inicial para a resolução deste tipo de problema. Porém pode ser desenvolvido um programa com a inserção dessas informações para obtermos uma simulação ótima para qualquer tipo carregamento de Container

Referências

CECILIO, Fabiana Oliveira; MORABITO, Reinaldo. **Heurísticas para o Problema de Carregamento de Carga dentro de Containeres**. Disponível em: < http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:kJZQy2geqtgJ:www.din.uem.br/sbpo/sbpo2003/pdf/arq0175.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br >, acesso em 15 de novembro de 2015.

MORABITO, Reinado; ARENALES, Marcos N. **Abordagens para o problema do Carregamento de Containeres.** Disponível em: < https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45282666/po97.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1535211027&Signature=vXtLqyyGbxVR2B9ZxfM6kfOILdM%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAbordagens_para_o_problema_do_carregamen.pdf> Acesso em 25 de Agosto de 2018.

UTIDA, Mariza A; LÁZARO, Rúben A. R. **Heurísticas Especializadas Aplicadas ao Problema de Carregamento de Container.** Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/100311>, acesso em 15 de novembro de 2015.

OLIVEIRA, Eliane Vendramini de. **Resolução do Problema de Carregamento de Container através de uma Heurística**. Disponível em: < http://www.fai.com.br/portal/_arquivos/_itens_home/65f1dfa7f4a0090ca5a88763a4866826.pdf#page=18>, Acesso em 25 de agosto de 2018.

PEREIRA, Djalma Martins; RATTON, Eduardo; BLASI, Gilza Fernandes; PEREIRA, Márcia de Andrade; KÜSTER FILHO, Wilson. **Apostila de Sistemas de Transportes.** Disponível em: < http://www.dtt.ufpr.br/Sistemas/Arquivos/apostila-sistemas-2013.pdf>, Acesso em 07 de Setembro de 2018.

TALEB-IBRAHIMI; Mounira; DE CASTILHO, Bernardo; DAGANZO, Carlos F. **Storage space vs handling work in container terminals.** Disponível em: <

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/019126159390009Y>, Acesso em 07 de Setembro de 2018.

DEJAX, Pierre J.; CRAINIC, Teodor Gabriel. **A review of empty flows and fleet management models in freight transportation**. Transportation Science, Vol. 21 Nº4, page 227-248, November 1987, Published by: Informs.

VENDRAMINI, Eliane. **Otimização do Problema de Carregamento de Container usando uma metaheurística Eficiente.** Disponível em:< http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/187-dissertacao_eliane_vendramini.pdf >, Acesso em 09 de Setembro de 2018.