

CARREGAMENTO DE CONTÊINER COM RESTRIÇÕES DE MÚLTIPLOS DESTINOS

Vinícius Amaral Armentano

Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação,
Universidade Estadual de Campinas
Av. Albert Einstein, 400, CEP 13083-952, Campinas, SP, Brasil
vinicius@densis.fee.unicamp.br

Olinto César Bassi de Araújo

Colégio Técnico Industrial de Santa Maria
Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima no. 1000 - Cidade Universitária
Bairro Camobi – Santa Maria – RS – 97105-900, Brasil
olinto@smail.ufsm.br

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre o problema de carregamento de contêiner no qual a carga é composta por grupos de caixas, ou demandas, com diferentes destinos. As demandas devem ser entregues, do contêiner uma de cada vez, de forma a evitar descarregar e carregar novamente parcialmente o contêiner. Para garantir este requerimento operacional, diferentes formas de modelar esta restrição foram propostas na literatura. Resultados computacionais são apresentados para demonstrar a influência destas diferentes formulações na ocupação do volume do carregamento .

PALAVRAS-CHAVE: Problema de corte e empacotamento. Problema de carregamento de contêiner. Restrições de múltiplos destinos. Logística e transportes.

ABSTRACT

This paper presents a study on the container loading problem in which groups of boxes, or demands, with different destinations compose the cargo. When the demands are delivered, one at a time, is necessary to avoid unloading and reloading part of the items from container. To ensure this operational requirement, different ways of modeling this constraint have been proposed in the literature. Computational results are presented to demonstrate the influence of these different formulations in the container space utilization ratio.

KEYWORDS: Cutting and packing problems. Container Loading Problem. Multi-drop constraint. Logistics and Transportation.

1. Introdução

No decorrer das atividades diárias muitas indústrias deparam-se com problemas de corte e empacotamento que, invariavelmente, são componentes importantes na formação do custo final dos produtos. Encontrar soluções otimizadas para estes problemas implica diretamente na redução de custos, que vem a ser um dos principais objetivos de qualquer empresa ou indústria inserida em um mercado competitivo. Porém, estes são problemas de otimização combinatória NP-difícil que, na prática, mostram-se extremamente difíceis de serem resolvidos, o que leva ao uso de métodos heurísticos, que nem sempre garantem a solução ótima, mas, muito provavelmente, garantem uma solução viável de boa qualidade com baixo esforço computacional.

Em se tratando do problema de carregamento de contêiner (PCC), é importante observar que os métodos de resolução, para serem verdadeiramente úteis, devem observar várias restrições de cunho prático oriundas de situações reais. Em seu trabalho, Bischoff e Ratcliff (1995), afirmam que, muitas vezes, uma série de aspectos práticos na montagem da carga são desconsiderados na construção de heurísticas para problemas de carregamento de veículos. Bischoff e Racliff sugerem doze exigências operacionais que podem ser incorporadas na definição do PCC e, desde então, vários autores propuseram diferentes metodologias que incluem algumas das restrições sugeridas. Veja, por exemplo, Gehring e Bortfeldt (1997), Bortfeldt e Gehring (2001), Eley (2002), Silva et al. (2003) e Bischoff (2006), entre outros.

É de interesse para o trabalho aqui proposto ressaltar trabalhos que incorporam restrições de múltiplos destinos em problemas de carregamento de contêiner.

Verweij (1996) aborda variações do problema *bin packing* bidimensional e tridimensional nos quais a carga é fracionada segundo a demanda de diversos clientes, e o carregamento deve ser efetuado de forma que seja possível movimentar somente as caixas do destino corrente por ocasião da entrega. O autor apresenta em detalhes as estruturas de dados e procedimentos utilizados para a representação da solução. Como método de solução é proposta uma heurística que pode ser interpretada como uma variação da heurística de busca em árvore com largura limitada. Resultados são apresentados considerando as demandas dadas em uma ordem pré-estabelecida.

Lin e Yu (2006) definem custos para o processo de descarga de um contêiner baseados na definição de uma regra de não visibilidade e acessibilidade das caixas (*invisible and untouchable rule*). A heurística construtiva proposta para resolver o problema também inclui restrições de orientação e estabilidade além das restrições de múltiplos destinos.

Christensen e Rousøe (2009) resolvem o problema de carregamento de contêineres com restrição de múltiplos destinos e concentram-se em determinar o sequenciamento de entrega para a montagem da carga. Adicionalmente, os autores consideram restrições de orientação e capacidade de empilhamento das caixas, bem como projeção da base de apoio (*overhang*). A construção do padrão de carregamento é contruído em camadas que são definidas por um procedimento de busca em árvore. O controle da largura da árvore de busca é feito em função do limite de tempo imposto no início do método.

Mais recentemente, Almeida e Figueiredo (2010) consideram um problema de carregamento de contêiner com restrições para o posicionamento de caixas. Nesse problema o contêiner é dividido em prateleiras e uma data de remoção definitiva é atribuída para cada caixa e, para movimentações que ocorram antes dessa data, é definido um valor numérico de acessibilidade. Muito embora este problema não seja exatamente o objeto de estudo do presente trabalho, é importante no que se refere a forma como é modelada a disposição das caixas bem como o valor definido para determinar a acessibilidade. As restrições impostas proporcionam uma boa distribuição espacial dos itens que vem a auxiliar no controle quantitativo (contagem) e no qualitativo (facilidade de manuseio) das mercadorias.

Os trabalhos de Gendreau et al. (2006), Tarantilis et al. (2009) e Fuellerer et al. (2010) tratam

do problema de carregamento de veículos e roteamento de veículos. Neste problema, as demandas são compostas por caixas e devem ser carregadas de forma a satisfazer uma restrição de múltiplos destinos.

O problema abordado nesse trabalho considera o carregamento de um único contêiner utilizando duas definições para a restrição de múltiplos destinos. A heurística de múltiplos inícios proposta pelos autores em Araújo e Armentano (2007) é adaptada para testar a influência destas restrições na ocupação do volume do contêiner do carregamento final.

O restante deste trabalho está organizado na forma que segue. A seção seguinte apresenta a definição formal do problema. Em seguida, na seção 3, a heurística de múltiplos inícios é brevemente descrita. Resultados dos experimentos computacionais são tabulados e analisados na seção 4. Conclusões apresentadas na seção 5.

2. Descrição do problema

No problema de carregamento de contêiner é dado um conjunto de caixas com uma utilidade associada a cada caixa e um único contêiner. O objetivo é escolher um subconjunto de caixas que caiba no contêiner e maximize a utilidade satisfazendo um conjunto de restrições. Se a utilidade de cada caixa é igual ao seu volume, o objetivo é interpretado como maximização do volume ocupado. O contêiner é caracterizado pelas dimensões comprimento, largura e altura $L \times W \times H$ e volume V . Sem perda de generalidade, assume-se que as dimensões, tanto do contêiner como das caixas, são inteiros positivos. O carregamento dos itens deve obedecer, além das restrições sobreposição, as seguintes restrições:

1. **Orientação:** uma ou duas dimensões de algumas caixas não podem ser orientadas verticalmente. Se nenhuma restrição sobre a orientação de uma caixa for imposta, então esta pode ser carregada com uma das seis orientações possíveis.
2. **Estabilidade:** uma caixa deve ter uma área de suporte maior que um limite mínimo estipulado sobre a porcentagem da sua base.
3. **Múltiplos destinos:** o carregamento de demandas formadas pelo agrupamento de diferentes itens deve respeitar a ordem com que estes devem ser entregues nos respectivos destinos.

Para que a descrição da terceira restrição fique completa é necessário determinar como as caixas devem ser descarregadas quando as demandas de cada clientes são entregues. Usualmente o procedimento de descarregamento apresenta a seguinte definição: quando um cliente é visitado, deve ser possível descarregar cada item da sua demanda com um único movimento direto e paralelo à direção do comprimento do contêiner, ou seja, a caixa a ser entregue deve ser completamente visível quando o observador é posicionado na frente do carregamento em uma altura adequada (Christensen e Rousøe ,2007 ; Verweij, 1996 ; Gendreau et al., 2006; Tarantilis et al., 2009; Fuellerer et al. 2010). A restrição de múltiplos destinos de acordo a definição anterior é denominada, deste ponto em diante, MD.

A restrição MD apresenta dificuldades de ordem prática, uma vez que o fato de uma caixa ser visível nem sempre é condição suficiente para garantir que esta seja facilmente descarregada. Esta situação é ilustrada na Figura 1, na qual a primeira caixa a ser entregue está muito distante da frente de carregamento. Dada essa configuração, faz-se necessário movimentar itens de outras demandas para acessar a caixa desejada.

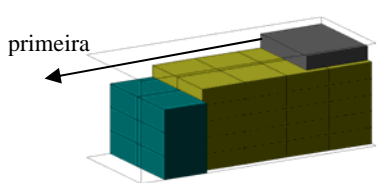


Figura 1 – Ilustração de um carregamento com restrição MD

No trabalho de Lin e Yu (2006) uma definição mais adequada é proposta, na qual a minimização da movimentação de caixas de outras demandas é considerada na função objetivo. Esta definição utiliza os conceitos de não visibilidade e acessibilidade do ponto de vista do operário encarregado pela retirada das caixas. A acessibilidade é determinada a partir de duas variáveis, $L_{touchable}$ e $H_{touchable}$, ilustradas na Figura 2, que devem satisfazer as restrições abaixo.

$$L_{touchable} + H_{touchable} \leq 200$$

$$L_{touchable} \leq \max\{200 - z_i, 60\}$$

Os valores das constantes 200 (cm) e 60 (cm) foram definidos de forma a simular dimensões aproximadas de um operário. O custo para descarregar as caixas de uma dada demanda é calculado considerando o número de caixas de outras demandas que precisam ser movimentadas. A restrição de múltiplos destinos de acordo com esta definição é denominada MDC.

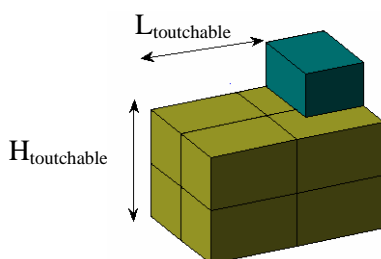


Figura 2 – Ilustração do conceito de acessibilidade de uma caixa

A restrição MDC se aproxima mais dos requisitos que a atividade real de descarregamento exige, pois considera situações como a apresentada na Figura 3. Neste caso, no momento que uma caixa deve ser descarregada é necessário movimentar uma caixa de outra demanda. Na prática, este custo pode ser aceitável.

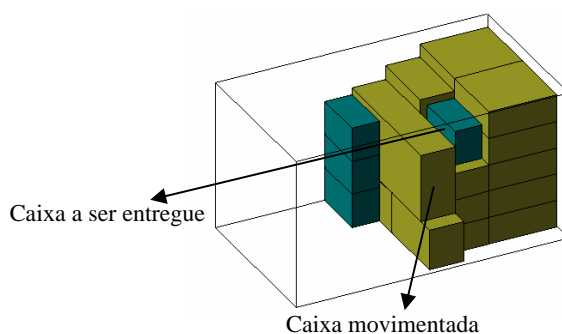


Figura 3 – Padrão de carregamento com restrição MDC

No entanto, algumas dificuldades práticas ainda persistem. A Figura 4 mostra uma situação na qual um conjunto de caixas satisfaz as restrições de acessibilidade ainda que na prática não seja possível descarregá-lo sem movimentar itens de outra demanda. A dificuldade reside na largura do espaço disponível para manobra.

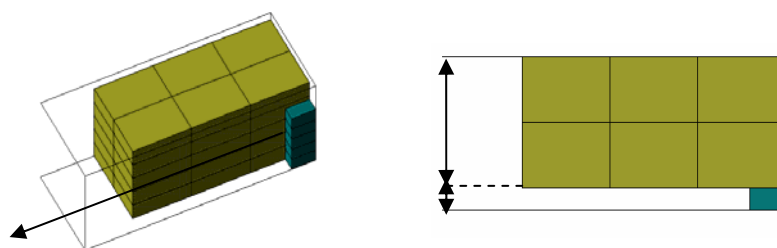


Figura 4 – Dificuldade para acessar uma caixa devido à largura do espaço disponível

Outro ponto a ser observado é que, quando as demandas são carregadas sequencialmente em ordem inversa da ordem de entrega, nunca ocorre uma configuração na qual uma caixa a ser entregue esteja embaixo de outra que deve permanecer no contêiner para uma entrega posterior. Uma ilustração de como esta situação pode ser desejável é apresentada na Figura 5. Em (a) não é possível carregar a última demanda composta por apenas uma caixa, o que, em uma situação extrema, exigiria o uso de um contêiner extra. Caso seja permitido a movimentação de apenas uma caixa da demanda da segunda entrega, consegue-se uma melhoria a qualidade da solução.

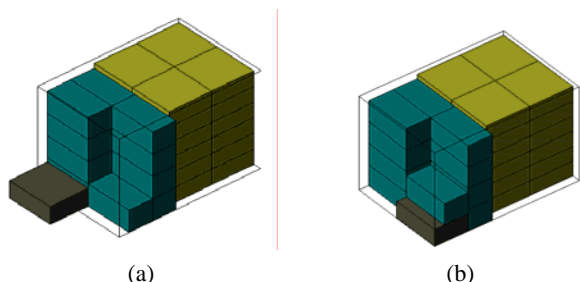


Figura 5 – Ordem de carregamento das demandas

Neste trabalho são consideradas, separadamente, as restrições MD e MDC.

3. Heurística de carregamento

Para fim de brevidade, a heurística para carregamento de contêiner é apresentada de forma resumida. Uma descrição mais detalhada pode ser encontrada em Araújo e Armentano (2007). Atenção especial é dada às adaptações necessárias para lidar com as restrições de múltiplos destinos.

A idéia central da heurística reside no conceito de cubóide de tamanho variável, que são blocos homogêneos formados por caixas do mesmo tipo com mesma orientação. As caixas que formam um cubóide devem ser dispostas ao longo das três dimensões do contêiner de modo a formarem um paralelepípedo. Uma única caixa pode ser entendida como um cubóide e, durante a construção do padrão de carregamento, um cubóide de qualquer tamanho, desde uma caixa até o número máximo possível para o espaço disponível, pode ser escolhido para compor o carregamento. Semelhante ao procedimento adotado por Bischoff and Ratcliff (1995) e Bischoff (2006), dado um espaço vazio i com dimensões $L_i \times W_i \times H_i$, cada cubóide é avaliado segundo diferentes critérios arranjados de acordo com a importância.

A **Figura 6** apresenta o algoritmo de múltiplos reinícios para o problema de carregamento de contêiner em pseudo-código. Inicialmente, dados da instância e parâmetros do algoritmo são processados e algumas variáveis e estruturas são inicializadas, ver linhas 1 a 3. O contador de iterações é incrementado na linha 5. Na linha 6 um conjunto de critérios de avaliação dos cubóides é escolhido. Na linha 7 é invocado o procedimento que constrói soluções. A solução

incumbente é atualizada na linha 8. A solução incumbente é retornada na linha 10.

0	Procedure multistart algorithm for container loading
1	Leia e processe os dados da instância e parâmetros do algoritmo
2	$S_{incumbente} \leftarrow \{ \}$
3	$iter \leftarrow 0$
4	While (critério de parada não satisfeito) do
5	$iter \leftarrow iter + 1$
6	Critérios \leftarrow Escolha um conjunto de critérios de avaliação dos cubóides
7	$S \leftarrow$ Construção_Aleatorizada(Critérios)
8	If $f(S_{incumbente}) < f(S)$ then $S_{incumbente} \leftarrow S$ End_if
9	End_while
10	Return ($S_{incumbente}$)

Figura 6 – Algoritmo Múltiplos Reinícios para o problema de carregamento de contêiner

Para considerar a restrição de múltiplos destinos é necessário modificar o procedimento responsável por atualizar os espaços vazios disponíveis dentro do contêiner. Mais especificamente, após o carregamento de uma demanda, é necessário desconsiderar os espaços vazios que não atendam as especificações consideradas na definição da restrição. Não necessariamente todas as caixas da última demanda são carregadas.

Para um melhor entendimento, a Figura 7 ilustra o carregamento dos itens da primeira demanda de uma dada rota e, em destaque, dois espaços vazios que são descartados de acordo com a restrição de múltiplos destinos utilizada. Desta forma, um dos espaços vazios é descartado devido a falta de visibilidade e o outro devido a profundidade.

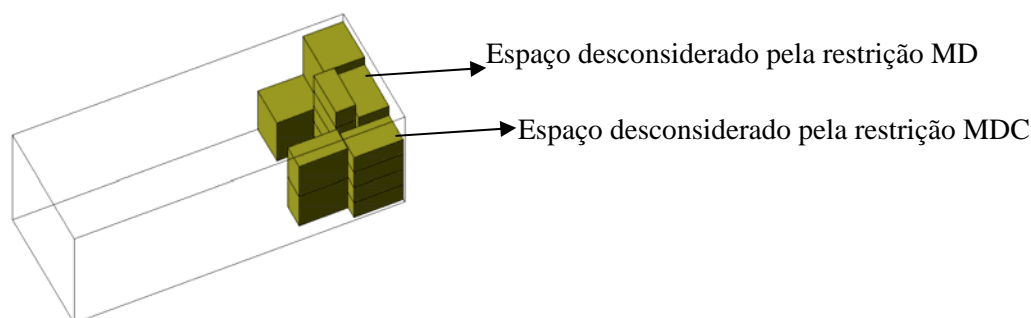


Figura 7 – Atualização dos espaços vazios após carregar todos os itens de uma demanda

4. Resultados Computacionais

O algoritmo foi implementado na linguagem C++ e os testes computacionais realizados em um computador com processador Intel Quad-Core Xeon X3360 2.83 GHz.

Para fazer o estudo comparativo das diferentes definições para a restrição de múltiplos destinos foi gerado conjunto de instâncias a partir das primeiras 20 instancias dos grupos BR1 a BR7 propostos por Bischoff e Ratcliff (1995). Para tanto, foi determinado que o número de demandas a serem entregues varia de 2 a 10, cada uma composta por um subconjunto das caixas

da correspondente instância BR definido aleatoriamente,. A sequência de carregamento foi pré-estabelecida seguindo a ordem de atribuição dos índices a cada demanda.

Como critério de parada foi utilizado a avaliação de 10.000 soluções e, no que se refere a restrição de estabilidade, uma caixa é considerada estável se a área de suporte for maior que 75% da área de sua base.

A Tabela 1 apresenta a ocupação média do volume do contêiner de acordo com o número de demandas e a restrição de múltiplos destinos considerada, MD ou MDC. A primeira coluna lista o grupo BR a partir do qual foram geradas as instâncias com diferentes configurações de demandas, apresentadas nas colunas 3 a 11. A restrição utilizada é listada na coluna 2 e a média da ocupação na coluna 12.

Conforme poderia ser antecipado, quanto maior o número de demandas menor a ocupação do volume do contêiner. Este fato ocorre porque a divisão da carga em grupos por demanda aumenta a fragmentação da área disponível para carregamento. De forma semelhante, o aproveitamento do volume do container diminui quando o número de tipos de caixas aumenta, ou seja, quanto mais heterogêneo for o conjunto de caixas.

Tabela 1 – Ocupação média do volume do contêiner de acordo com o número de demandas

Inst	Restr	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
BR1	MD	86,93	84,64	82,37	79,57	79,03	78,78	73,89	67,41	62,19	77,20
	MDC	87,06	84,36	80,98	78,21	77,09	75,72	71,72	66,03	62,19	75,93
BR2	MD	86,01	82,23	79,05	76,97	75,30	74,50	72,10	67,66	62,67	75,17
	MDC	85,86	81,27	77,13	75,76	72,98	72,38	69,55	65,33	60,72	73,44
BR3	MD	82,18	77,00	72,43	69,92	66,52	63,49	62,28	60,45	58,03	68,03
	MDC	82,27	75,99	71,72	68,57	64,74	60,08	59,12	55,70	53,28	65,72
BR4	MD	80,30	74,13	70,07	66,04	63,21	61,75	59,60	56,99	56,31	65,38
	MDC	80,50	73,25	69,38	63,23	61,00	57,71	55,38	52,05	50,70	62,58
BR5	MD	80,12	72,71	69,04	63,76	61,39	58,46	56,13	54,14	53,44	63,24
	MDC	79,23	71,01	67,85	61,96	58,44	54,56	51,97	48,97	48,05	60,23
BR6	MD	78,50	70,48	65,54	60,73	57,12	55,65	53,36	51,64	49,43	60,27
	MDC	77,39	68,73	63,58	58,73	54,29	51,31	48,05	46,71	44,15	56,99
BR7	MD	74,97	66,52	60,43	57,42	54,08	49,13	49,03	47,43	47,19	56,24
	MDC	74,69	66,19	55,94	53,52	50,78	46,51	44,15	43,62	42,85	53,14

É possível observar que os melhores resultados são obtidos com a restrição MD, com exceção para os grupo BR1, BR3 e BR4 com 2 demandas, para os quais a ocupação do volume do contêiner é ligeiramente maior com a restrição MDC. Na média, quando considerada a restrição MD, consegue-se um aproveitamento não maior que 3% do volume do contêiner do que com a restrição MDC. Muito embora esta diferença possa parecer não significativa, é importante lembrar em problemas de roteamento uma demanda deve ser completamente carregada para satisfazer a restrição de visitar uma única vez cada cliente. Com isto, o uso de uma ou outra restrição pode alterar significativamente o custo total das rotas de entrega. O menor rendimento ligado a restrição MDC parece ser devido mais ao fato desta restringir mais fortemente o conceito de acessibilidade das caixas que compõem o carregamento.

A Tabela 2 apresenta o tempo computacional quando o algoritmo considera as restrições MD e MDC. Pode-se observar que o uso da restrição MD implica em um tempo computacional maior, fato que pode ser atribuído ao maior número de espaços vazios que são avaliados para construir o padrão de carregamento. Observa-se também existe uma maior variação no tempo computacional, para ambas as restrições, quando o conjunto de caixas é fracamente heterogêneo. Isto é devido a fragmentação da matriz de superfície utilizada como estrutura de dados para identificar os espaços vazios disponíveis para carregamento.

Tabela 2 – Tempo de CPU médio, em segundos, de acordo com o número de demandas

Inst	Restr	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
BR1	MD	2,89	3,48	4,06	4,83	5,41	5,81	6,37	6,56	6,41	5,09
	MDC	2,52	2,94	3,33	3,72	4,04	4,29	4,51	4,60	4,61	3,84
BR2	MD	4,82	5,54	6,63	7,5	7,99	8,58	8,82	9,63	9,56	7,67
	MDC	4,17	4,61	5,35	5,81	6,04	6,31	6,36	6,75	6,62	5,78
BR3	MD	7,96	8,56	9,87	10,64	11,02	11,54	11,61	12,31	12,57	10,68
	MDC	6,90	7,50	8,07	8,39	8,56	8,63	8,66	8,96	8,85	8,28
BR4	MD	9,43	10,08	11,31	12,01	12,27	12,65	13,34	13,31	13,47	11,99
	MDC	8,21	8,69	9,22	9,47	9,68	9,65	10,06	9,72	9,70	9,38
BR5	MD	10,98	11,94	12,85	13,31	13,86	13,50	13,91	14,47	14,02	13,20
	MDC	9,52	10,29	10,59	10,69	10,85	10,49	10,45	10,73	10,19	10,42
BR6	MD	13,17	14,52	14,58	15,66	15,75	15,93	15,86	16,18	15,72	15,26
	MDC	11,45	12,23	12,23	12,37	12,33	12,26	12,12	12,16	11,80	12,11
BR7	MD	14,70	18,16	17,83	17,75	17,44	17,92	17,32	17,14	16,78	17,23
	MDC	13,74	14,72	14,84	14,86	14,01	14,13	13,21	13,09	12,60	13,91

A Tabela 3 apresenta o custo médio de descarregamento com a restrição MDC considerando o número de demandas. O custo é computado a partir do número de caixas que se deve movimentar para descarregar uma cada demanda. De acordo com os valores dos custos, é possível inferir que na maioria das vezes nenhuma caixa, que não é da demanda a ser entregue, precisa ser movimentada. Isso decorre da metodologia utilizada de carregar as caixas das demandas sequencialmente em ordem inversa da ordem de entrega.

Tabela 3 – Custo médio do descarregamento com a restrição MDC

	Número de demandas									Média total
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Custo Médio	0,07	0,24	0,36	0,21	0,46	0,31	0,69	0,59	0,75	0,40

A ocupação do volume do container, bem como o custo de descarregamento, fornecem uma comparação quantitativa para o uso das restrições MD e MDC. Outra forma de avaliar a qualidade dos carregamentos é a facilidade na manipulação da carga em uma situação real de descarregamento. Das soluções obtidas, a Figura 7 apresenta dois padrões de carregamento, em (a) com a restrição MD e em (b) com a restrição MDC. É possível observar que uma das caixas da segunda demanda a ser entregue, identificada em (a), embora visível, está distante da frente do carregamento. Em uma situação real seria necessário rearranjar a carga para ser possível ter acesso a esta caixa. O mesmo, como pode ser observado em (b), não ocorre para o carregamento que satisfaz a restrição MDC.

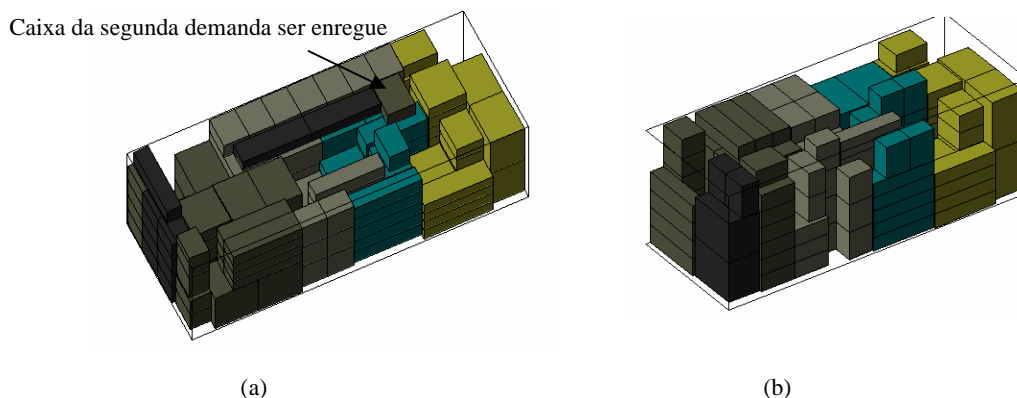


Figura 7 – Padrões de carregamento considerando restrição MD em (a) e MDC em (b).

A Figura 8 apresenta um padrão de carregamento com restrição MDC no qual oito caixas devem ser movimentadas.

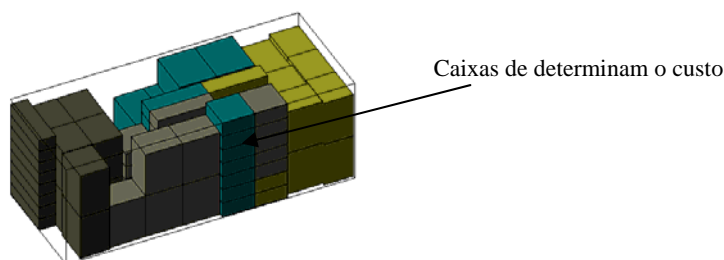


Figura 8 – Padrão de carregamento com restrição MDC.

5. Conclusões

Neste trabalho foi estudado o problema de carregamento de contêiner com duas definições para restrições de múltiplos destinos propostas na literatura. Para a resolução do problema foi utilizada uma adaptação da heurística para carregamento de contêiner de Araújo e Armentano (2007).

Os resultados computacionais demonstram que a definição da restrição múltiplos destinos mais utilizada na literatura produz um melhor aproveitamento médio do volume do container para diferentes configurações de carga. No entanto, essa definição não considera alguns requisitos que devem ser observados na atividade real. A segunda definição, que modela o problema de forma mais realística, produz um aproveitamento médio de até 3% menor do volume do contêiner.

Para trabalhos futuros, os resultados apresentados sugerem a possibilidade de tratar o problema com múltiplos objetivos, deixando a cargo do decisor escolher entre a facilidade da operação de descarregamento e a ocupação do volume do contêiner.

Conforme visto na descrição do problema, outras formas de definir a restrição de múltiplos destinos são possíveis e, com isto, surge a possibilidade de projetar novas abordagens heurísticas. Por exemplo, se for permitido configurações em que uma caixa a ser entregue esteja embaixo de outra que deve permanecer no contêiner para uma entrega posterior, outras abordagens heurísticas são necessárias.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

References

- Almeida, A. e Figueiredo, M. B.** (2010). A particular approach for the Three-dimensional Packing Problem with additional constraints, *Computers & Operations Research*, 37 : 1968–1976.
- Araújo, O. C. B., e Armentano, V. A.** (2007). A multi-start random constructive heuristic for the container loading problem, *Pesquisa Operacional*, 27 (2) : 311-331.
- Bischoff, E. E.** (2006). Three-dimensional packing of items with limited load bearing strength, *European Journal of Operational Research*, 168 (3) : 952-966.
- Bischoff, E. E. e Ratcliff, M. S. W.** (1995). Issues in the development of approaches to container loading, *Omega*, 4 : 377-390.
- Bortfeldt, A. e Gehring, H.** (2001). A Hybrid Genetic Algorithm for the Container Loading Problem. *European Journal of Operational Research*, 131 : 143-161.
- Christensen, S. G. and Rousøe, D. M.** (2009). Container loading with multi-drop constraints, *International Transactions in Operational Research*, 16(6) : 727-743.
- Eley, M.** (2002). Solving container loading problems by block arrangement, *European Journal of Operational Research*, 141 (2) : 393-409.
- Fuellerer, G., Doerner, K. F., Hartl, R. F., Iori, M.** (2010). Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints, *European Journal of Operational Research*, 201(3): 751-759.
- Gehring, H. e Bortfeldt, A.** (1997). A Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem. *International Transactions in Operations Research*, 4 (5-6) : 401-418.
- Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G., Martello, S.** (2006). A Tabu Search Algorithm for a Routing and Container Loading Problem. *Transportation Science* 40(3): 342-350.
- Lin, C. C. and Yu, C. S.** (2006). A Heuristic Algorithm for the Three-Dimensional Container Packing Problem with Zero Unloading Cost Constraint, *IEEE International Conference , Systems, Man and Cybernetics*, 6 : 4637-4642.
- Silva, J. L. C. e Soma, N. Y.** (2003). Um algoritmo polinomial para o problema de empacotamento de contêineres com estabilidade estática da carga, *Pesquisa Operacional*, 23 (1) : 79-98.
- Tarantilis, C. D., Zachariadis, E. E., Kiranoudis, C. T.** (2009). A hybrid metaheuristic algorithm for the integrated vehicle routing and three-dimensional container-loading problem, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 10 (2): 255-271.
- Verweij, A. M.** (1996). Multiple destination bin packing. UU-CS (Ext. r. no. 1996-39). Utrecht, the Netherlands: Utrecht University: Information and Computing Sciences.