

# Um Problema de Empacotamento em um Veículo Multicompartimentado

Rodolfo Ranck Jr<sup>1</sup>, Horacio Hideki Yanasse<sup>2</sup>, Reinaldo Morabito<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Doutorado em Computação Aplicada – CAP, INPE

<sup>2</sup>Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada – LAC, INPE

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia de Produção – DEP, UFSCAR

rodolfo@ranck@gmail.com, horacio@lac.inpe.br, morabito@ufscar.br

***Abstract.** We address a packing problem where several box types must be loaded in a multi compartment vehicle to be delivered to customers. We try to satisfy constraints and desirable practical requirements like load stability, vehicle balancing, stacking, orientation and placement of items. We seek a packing of all required items that minimizes the overall delivery time. The delivery time to clients depends on the unloading and handling times of the items in each delivery point of the route. In this work we present a solution proposal for this problem that consists in assigning items to the vehicle compartments and packing them in horizontal layers.*

***Resumo.** Aborda-se um problema de empacotamento em que vários tipos de caixas devem ser carregados em um veículo multicompartimentado para serem entregues a clientes. Procura-se atender restrições e quesitos desejáveis na prática como estabilidade da carga, balanceamento do veículo, empilhamento, orientação e posicionamento dos itens. Busca-se um empacotamento de todos os itens demandados que minimize o tempo de entrega aos clientes. O tempo de entrega aos clientes é função do tempo de descarregamento e remanejamento de itens em cada ponto de entrega ao longo da rota do veículo. Neste trabalho, apresenta-se uma proposta de solução para este problema que consiste da atribuição de itens aos compartimentos do veículo e do empacotamento deles em camadas horizontais.*

**Palavras-chave:** Problema de Empacotamento, Veículos Multicompartimentados, Roteamento.

## 1. Introdução

**Nota:** O presente documento é uma versão resumida do trabalho aqui abordado. Para obter o respectivo artigo completo e detalhado o leitor pode contatar os autores.

Empacotar caixas (itens) em contêineres (objetos) é geralmente um problema complexo quando se quer, por exemplo, minimizar o número total de objetos utilizados para empacotar todos os itens requeridos por um cliente.

Itens podem ser arranjados sobre um objeto de diversas maneiras. Cada um destes arranjos define um padrão de empacotamento que deve respeitar duas condições: itens não podem ocupar o mesmo lugar no objeto; itens devem estar completamente arranjados dentro de um objeto.

Um problema de empacotamento prático é o problema de carregamento de itens em contêineres. Dois tipos deste problema podem ser considerados: Problema de Carre-

gamento de Contêineres (*Container Loading Problem* - CLP) e Problema de Carregamento de Paletes (*Pallet Loading Problem* - PLP). O CLP e PLP são similares. Uma possível diferença entre eles é a estabilidade dos itens colocados no objeto, uma vez que diferentemente do PLP, no CLP os itens podem ser apoiados diretamente nas paredes verticais dos contêineres (Bischoff e Ratcliff, 1995). Segundo Hodgson (1982) o PLP pode ser dividido em dois casos: o PLP do Produtor (*Manufacturer's Pallet Loading Problem* - PLP-M) e o PLP do Distribuidor (*Distributor's Pallet Loading Problem* - PLP-D). A diferença entre eles, é que no PLP-M todos os itens são idênticos e no PLP-D os itens podem ser diferentes (Junqueira, 2009).

## 2. Definição do Problema

O problema estudado neste trabalho é motivado de um problema prático de entrega de bebidas por caminhões multicompartimentados. Um veículo dispõe de um número  $n$  de compartimentos ou contêineres que podem ser acessados independentemente através de portas individuais. Há compartimentos localizados em ambos os lados do veículo. Admite-se que os itens transportados são retangulares e devem ser colocados ortogonalmente dentro dos contêineres também retangulares. Os itens são colocados nos compartimentos sobre paletes e em cada compartimento somente é colocado um único palete.

O veículo parte carregado do armazém, e sua rota, bem como as demandas de todos os clientes são conhecidas, portanto, a quantidade de itens de cada tipo que deve ser carregada neste veículo é conhecida. A rota de um veículo define uma sequência de paradas que ele deve realizar para atender todos os clientes. Em cada parada o veículo descarrega itens de um ou mais clientes conhecidos. Ao empacotar os itens, procura-se atender os quesitos (R1-R5) enquanto o objetivo O1 deve ser buscado: **Orientação (R1)**, os itens têm restrições do tipo “este lado para cima”; **Empilhamento (R2)**, em qualquer pilha, o item abaixo deve ter resistência suficiente para sustentar os itens colocados acima dele; **Estabilidade da Carga (R3)**, um item deve ser sustentado pelos itens abaixo dele; **Atendimento da demanda (R4)**, devem-se empacotar todos os itens demandados pelos clientes da rota definida para o veículo; **Balanceamento do veículo (R5)**, deseja-se manter, ao longo de uma rota, o balanceamento do veículo (a diferença entre os pesos totais dos itens empacotados dos lados esquerdo e direito do veículo deve estar dentro de um valor limite); **Minimizar o tempo de descarregamento dos itens ao longo de uma rota (O1)**. Para alcançar este objetivo, procura-se diminuir o tempo gasto com o manejo da carga e com o acesso aos itens nos compartimentos. Para tal, consideramos que no descarregamento somente os itens do topo de um palete são diretamente acessíveis. Quando um item não está no topo outros acima dele precisam ser remanejados e, portanto, o acesso a um item é mais rápido quanto mais próximo ele estiver do topo.

## 3. Procedimento de Solução Proposto

Neste trabalho, propõe-se obter uma boa solução para o problema buscando empacotar itens nos veículos em camadas horizontais. Estas camadas podem ser completas e incompletas. As completas contêm apenas itens de mesma família (itens com as mesmas dimensões físicas, resistência e peso) e na maior quantidade possível. As demais camadas são denominadas de incompletas. Admitimos que camadas incompletas fiquem sempre no topo dos paletes nos contêineres por questões de estabilidade.

Com esta proposta via camadas, geramos inicialmente a quantidade máxima possível de camadas completas. Em seguida, atribuímos todas as camadas geradas ob-

servando restrições e o objetivo do problema. Isto é realizado resolvendo um Problema de Programação Linear Inteira - PPLI (P1). Os itens residuais são então atribuídos aos veículos definindo as camadas incompletas. Para isto, resolve-se um novo PPLI (P2). Nesta atribuição, observam-se também as restrições e o objetivo do problema.

O procedimento de solução detalhado é dividido em 5 etapas, mas não é apresentado nessa versão resumida do artigo. Ver nota em §1.

#### 4. Testes Computacionais

Para realizar testes computacionais, dados dos veículos e dos itens foram fornecidos pela empresa. As instâncias deste problema foram geradas aleatoriamente através de um procedimento desenvolvido para este trabalho.

Seja:  $nSMax$ : o número máximo de paradas geradas;  $nFamíliasMax$ : o número máximo de famílias distintas de itens geradas;  $dMin$ : a menor quantidade demandada de um item;  $fCorte$ : fator com valor compreendido entre 0 e 1 que impõe um limite no volume de itens requeridos em uma instância;  $nC$ : número de compartimentos do veículo. Os dados seguintes foram utilizados na geração das instâncias avaliadas:  $nFamíliasMax=2*nC$ ;  $dMin=10$ . A Tabela 1 apresenta outros dados também utilizados:

**Tabela 1. Dados das instâncias utilizadas nos testes.**

Parâmetros	Classes de Instâncias							
	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
$nSMax$	10	10	10	10	20	20	20	20
$nC$	6	6	8	8	6	6	8	8
$fCorte$	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7

Foram geradas 10 instâncias para cada uma das 8 classes avaliadas. As dimensões físicas dos compartimentos são idênticas. Ao todo foram consideradas 36 famílias de itens distintas.

Realizou-se uma tentativa de resolução de cada instância gerada através do método proposto e os resultados apresentados na Tabela 2 são baseados na média das soluções factíveis obtidas para uma determinada classe. Nesta tabela:  $cBC$  e  $cBU$  são respectivamente os custos com o desbalanceamento do veículo nas funções objetivos dos problemas P1 e P2;  $cTC$  e  $cTU$  são respectivamente os custos com o tempo de descarregamento nas funções objetivos dos problemas P1 e P2;  $nLC$  e  $nLU$  são respectivamente o número de camadas completas e incompletas;  $sUBL$  é o limitante superior para o número de camadas completas em algum compartimento do veículo;  $tempC$  e  $tempI$  são os tempos computacionais gastos para resolver respectivamente uma instância dos problemas P1 e P2;  $(\%)espA$  é o percentual de ocupação da área total disponível para empacotar os itens residuais;  $(\%)espH$  é o percentual de ocupação da soma das alturas dos compartimentos pela altura total das camadas. O tempo máximo para a resolução computacional de uma instância de P1 ou P2 foi configurado para 100 segundos.

**Tabela 2. Resultados dos testes computacionais.**

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
$cBC$	0	0	0	0	0	0	0	0
$cBU$	0	0	0	0	0	0	0	0
$cTC$	0,4444	0,3333	0,6	0,6	0	1	1,8	2,2222
$cTU$	43,8888	46	34,4	54,1	50,2222	94	72	64,5555
$nF$	8,5555	8,7777	10,2	10,6	8,3333	9	9,8	10,8888

<i>nLC</i>	24,2222	27,4444	32,5	41,1	24,7777	27,6666	37,8	34,8888
<i>nLU</i>	5,7777	5,6666	7,3	7,3	5,5555	5,7777	6,9	7,5555
<i>nS</i>	10	10	10	10	12,7777	14,3333	13,7	15,7777
<i>sUBL</i>	5,5555	5,7777	5,4	6,4	5,2222	6	6,5	5,7777
<i>tempoC</i>	13,8025	26,1127	18,2255	51,6984	11,1891	29,3384	44,3235	47,0455
<i>tempoI</i>	0,1300	0,2634	0,1372	0,8392	0,1889	0,0936	0,1796	0,3062
(%) <i>espH</i>	73,0171	81,2685	71,8179	82,6881	70,2439	79,9225	71,3362	83,2684
(%) <i>espA</i>	66,4688	63,6378	55,7895	57,8601	61,6381	68,0137	50,3347	55,8175

Na Tabela 2, os valores de *cBC* e *cBU* indicam que o desbalanceamento do veículo para todas as soluções obtidas permaneceu dentro do valor estipulado para P1 e P2. Os custos com o tempo de descarregamento para P1 foram baixos e em apenas 14 de 80 casos avaliados seu valor foi diferente de 0. Quase todos estes casos correspondem aqueles em que soluções ótimas não foram provadas. Por outro lado, para o problema P2, apenas 5 dos casos avaliados resultaram em um custo igual a 0. Aproximadamente 98,4% do tempo total de execução do método foi gasto tentando resolver o problema P1. Ao considerar apenas as instâncias que não extrapolam o limite de 100 segundos proposto (que puderam ser resolvidas até a otimalidade), a média do tempo gasto para resolver P1 considerando todas 80 instâncias é de aproximadamente 13 segundos.

Nos testes realizados, observou-se que das 80 instâncias avaliadas, pode-se resolver 75 delas (93,75% de eficácia) em que 62 delas puderam ser resolvidas até a otimalidade para simultaneamente P1 e P2. Estas 5 instâncias não puderam ser resolvidas por um dos seguintes motivos: não foi possível encontrar soluções factíveis para o problema P1 ou provar que ele é infactível. Isto ocorreu em 2 casos que apresentaram respectivamente 16,7% e 67,3% mais camadas do que a média de camadas para instâncias da mesma classe, o que pode ajudar a explicar estes casos; a solução do problema P2 é infactível. Nos 3 casos em que isto ocorreu, o número de itens residuais ocupa mais espaço do que o disponível nos topos.

## 5. Conclusões

Abordamos um problema inédito e motivado por um problema real de entrega de bebidas, considerando diversas restrições práticas. O método proposto mostrou ser eficaz na resolução da grande maioria dos casos avaliados, obtendo em todos os casos resolvidos soluções com o balanceamento do veículo dentro do valor desejado e com pequenos custos com o tempo de descarregamento. Um ponto negativo deste método é tentar resolver o problema P1 de maneira exata, que é computacionalmente difícil. Tal dificuldade motiva concentrar esforços no desenvolvimento de métodos de solução mais eficientes utilizando, por exemplo, heurísticas. Como proposta de estudo futuro, propõem-se: determinar o espaço disponível para os itens residuais com base em uma estimativa *a priori* do empacotamento deles em camadas horizontais; utilizar outras possibilidades de arranjos da carga, por exemplo, em colunas;

## Referências

- Bischoff, E. E., Janetz, F. E Ratcliff, M. S. W. Loading Pallets with Non-Identical Items. *European Journal of Operational Research*, v. 84, n. 3, p. 681-692, 1995.
- Hodgson TJ. A combined approach to the pallet loading problem. *IIE Transac.*, v.14, n.3, p.175-82, 1982.
- Junqueira, L. *Modelos de Programação Matemática para Problemas de Carregamento de Caixas dentro de Contêineres*. 2009. 134p. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2009.