LVI SBPO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
DE 04 ATÉ 07 NOVEMBRO 2024
FORTALEZA | CEARÁ

EMPACOTAMENTO EFICIENTE NO VAREJO DE MODA: O CASO DAS LOJAS RENNER

CANDACE Q. A. VASCONCELOS PIN
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)
São José dos Campos, SP, Brasil
candacevasconcelos@ita.br

DIOGO SEVILHA COUTO
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)
São José dos Campos, SP, Brasil
diogo.couto@alumni.usp.br

EDUARDO BOUHID NETO
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)
São José dos Campos, SP, Brasil
ebneto@unifesp.br

TALES MASSARIN FIGUEIREDO
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)
São José dos Campos, SP, Brasil
tales.figueiredo@unifesp.br

WAGNER CARVALHO
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Rua Passo da Pátria, 156 Campus Praia Vermelha Bloco D - sala 309 São Domingos, Niterói, RJ
wagnerc@id.uff.br

LUIZ LEDUINO SALLES NETO
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)
São José dos Campos, SP, Brasil
luiz.leduino@unifesp.br

GUILHERME FREITAS COELHO
Renner S.A.
São Paulo, SP, Brasil
guilherme.coelho@lojasrenner.com.br

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br

RESUMO

O problema de *Bin Packing* (BPP) é amplamente estudado devido à sua aplicação prática em áreas como logística, manufatura e gestão de recursos. Na prática, esses problemas são comuns em aplicações como carregamento de veículos, processos de corte e empacotamento de produtos. Por isso, o objetivo deste artigo é propor o uso da heurística *First Fit Decreasing* (FFD) para resolver um problema de *Bin Packing* no contexto do setor varejista de moda. Considerando restrições específicas como volume, peso e outras relacionadas à logística deste setor, o FFD foi aplicado para otimizar o empacotamento de itens em caixas. Os resultados são comparados com uma abordagem de modelagem exata, demonstrando a eficácia do FFD em fornecer soluções competitivas de maneira computacionalmente eficiente.

PALAVRAS CHAVE. Bin Packing, Varejo de Moda, Heurística FFD, Problemas de empacotamento.

Tópicos (Conclusões; Metodologia e Resultados; Modelagem; Descrição do Problema; Revisão da Literatura ; Introdução)

ABSTRACT

The Bin Packing Problem (BPP) is widely studied due to its practical application in areas such as logistics, manufacturing, and resource management. In practice, these problems are common in applications such as vehicle loading, cutting processes, and product packaging. Therefore, the aim of this article is to propose the use of the First Fit Decreasing (FFD) heuristic to solve a bin packing problem in the context of the retail fashion sector. Considering specific constraints such as volume, weight, and others related to the logistics of this sector, FFD was applied to optimize the packaging of items in boxes. The results are compared with an exact modeling approach, demonstrating the effectiveness of FFD in providing competitive solutions in a computationally efficient manner.

KEYWORDS. Bin Packing, Retail Fashion, FFD Heuristic, Packaging issues.

Paper topics (Conclusions; Methodology and Results; Modeling; Problem Description; Literature Review; Introduction)

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br

1. Introdução

O problema de *Bin Packing* (BPP) é amplamente estudado devido à sua aplicação prática em áreas como logística, manufatura e gestão de recursos. Segundo Rosin et al. [2009], problemas de *bin packing* são parte de um conjunto maior de problemas de otimização combinatória conhecidos como "problemas da mochila"(*knapsack problems* em inglês). Esses problemas têm atraído a atenção de pesquisadores e profissionais ao longo de várias décadas devido à sua complexidade desafiadora. O interesse acadêmico está, principalmente, na estrutura simplificada do problema, que permite a exploração de várias de suas propriedades e sua resolução como componente de problemas mais complexos. Na prática, esses problemas são comuns em aplicações como carregamento de veículos [Eilon e Christofides, 1971; Gehring et al., 1990] e processos de corte e empacotamento [Dyckhoff, 1990; Marques e Arenales, 2007; Hoto et al., 2007].

A variante clássica do problema busca minimizar o número de *bins* necessários para acomodar um conjunto de itens, respeitando a capacidade máxima de cada *bin*, podendo ser descrito da seguinte forma: dados $j = 1, ..., m$ objetos ou itens com seus respectivos pesos w_j e $i = 1, ..., n$ *bins* (ou mochilas) idênticas de capacidade finita c, determinar a alocação (ou designação) dos m itens aos *bins* (sendo $w_j \leq c, \forall j$).

O objetivo é minimizar o número de *bins* utilizados, respeitando-se as restrições de capacidade em cada um dos *bins*. No entanto, em muitos cenários reais, além da restrição de capacidade, outras restrições de negócio precisam ser consideradas, como limites de peso, quantidade de itens por *bin* e compatibilidade entre itens.

No contexto do varejo, especialmente no setor de moda, a velocidade e a eficiência na gestão de um centro de distribuição são cruciais. Roupas e acessórios, devido à sua natureza sazonal e tendências rápidas, exigem que o processo de armazenagem e distribuição seja altamente dinâmico e eficiente. Além disso, a rotatividade rápida dos estoques impõe a necessidade de métodos de armazenamento que considerem o princípio de *First-In, First-Out* (FIFO), garantindo que os itens mais antigos sejam distribuídos primeiro para evitar obsolescência e desperdício. Ademais, em um centro de distribuição de moda, as restrições de volume e maleabilidade dos itens são fundamentais. As roupas, por serem maleáveis, permitem um empacotamento mais flexível, mas também requerem cuidados específicos para evitar amassados e danos. Portanto, o problema de *Bin Packing* neste contexto não só deve considerar a capacidade e o peso dos *bins*, mas também a compatibilidade dos itens em termos de volume, manuseio adequado e destino final.

Neste contexto, heurísticas simples como a *First Fit Decreasing* (FFD) ou a *Best Fit Decreasing* (BFD) são amplamente utilizadas [Delorme et al., 2016; Scholl et al., 1997] dada a facilidade para obtenção de soluções iniciais para o BPP. Por isso, o objetivo deste artigo é propor uma solução de empacotamento de ordens de serviço utilizando *Bin Packing* com múltiplas restrições ao problema proposto. Para isso, utilizamos a heurística *First Fit Decreasing* (FFD).

A FFD é conhecida por sua eficiência em termos de tempo de execução e simplicidade de implementação. A heurística FFD ordena os itens em ordem decrescente de tamanho e os aloca no primeiro *bin* disponível que tenha espaço suficiente. Embora FFD não garanta uma solução ótima, frequentemente produz soluções de boa qualidade em um tempo computacionalmente eficiente.

Para avaliar a eficácia da heurística FFD, comparamos seus resultados com os obtidos por meio de um modelo de programação inteira mista que busca a solução ótima do problema. Este modelo leva em consideração todas as restrições de negócio especificadas e utiliza técnicas de otimização matemática para encontrar a melhor solução possível.

A comparação entre a heurística e o modelo ótimo é realizada através de experimentos com diferentes conjuntos de dados. Avaliamos a qualidade das soluções em termos do número de *bins* utilizados e o tempo computacional necessário para encontrar as soluções. Os resultados

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br

fornecem *insights* sobre a viabilidade e a eficiência de cada abordagem, destacando as condições sob as quais a heurística FFD se aproxima da solução ótima e os cenários em que o modelo ótimo se torna impraticável devido ao alto custo computacional.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na Seção 2, apresentamos a revisão da literatura, na Seção 3, apresentamos a formulação do problema de *Bin Packing* com múltiplas restrições de negócio; na Seção 4, descrevemos a heurística *First Fit Decreasing* e o modelo ótimo utilizado; na Seção 5, discutimos a metodologia experimental e os resultados obtidos; finalmente, na Seção 6, concluímos com as principais observações e direções futuras para pesquisa.

2. Revisão da Literatura

Problemas de *bin packing* constituem um grupo desafiador de problemas de otimização combinatória pertencentes a uma classe mais geral denominada "problemas da mochila" (do inglês, *knapsack problems*). Esses problemas vêm sendo intensamente estudados há várias décadas, atraindo tanto teóricos quanto práticos. Sendo problemas do tipo NP-difícil, suas soluções exatas podem ser computacionalmente inviáveis para instâncias maiores. Para lidar com conjuntos de dados maiores, é necessário recorrer a métodos heurísticos.

Dowsland e Dowsland [1992] aplicaram técnicas de Pesquisa Operacional para resolver problemas de embalagem em diversas situações, como carregamento de paletes e estufagem de contêineres. Focando na modelagem e solução de problemas em duas e três dimensões, revisando tanto abordagens exatas quanto heurísticas. A pesquisa inclui uma variedade de métodos para otimizar o uso do espaço e a eficiência do processo de embalagem.

Rosin et al. [2009] utilizaram o problema de *bin packing* com *bins* heterogêneos, ou de tamanho variável (do inglês "*variable sized bin packing problem*") para alocar todos os objetos ou itens de modo a minimizar o custo total dos *bins* utilizados. Os autores propuseram três heurísticas para a solução desse problema: duas baseadas em algoritmos genéticos e a outra híbrida, baseada em algoritmos genéticos, *scatter search* e busca local. São apresentados resultados de experimentos computacionais com problemas teste derivados de instâncias *benchmark* da literatura.

Como descrito por Johnson em sua tese de doutorado [Johnson, 1973], a heurística *First Fit Decreasing* tem um desempenho garantido muito próximo do ótimo:

$$FFD(L) \leq \frac{11}{9} \cdot OPT(L) + C$$

Em que, mantém-se com C = 4 para cada lista L de itens e o coeficiente assintótico 11/9 é preciso. Posteriormente, em 2013 [Dósa et al., 2013] foi publicada a primeira prova completa para o problema aberto relacionado ao menor valor da constante aditiva, com a expressão final:

$$FFD(L) \leq \frac{11}{9} OPT(L) + \frac{6}{9}$$

Assim, no pior caso, o número de recipientes usados pelo algoritmo FFD é no máximo 11/9 vezes o número ótimo de recipientes, mais uma constante 6/9.

3. Descrição do Problema

O presente estudo aborda um problema enfrentado pela Companhia Lojas Renner S.A., um ecossistema de moda e *lifestyle*, compreendendo os negócios Renner, Camicado, Youcom, Realize CFI e Repassa. Suas principais atividades concentram-se no varejo, no segmento de vestuário e acessórios [S.A., 2024].

O problema consiste na necessidade de empacotar itens (peças) do tipo encabidados e caixaria e, subsequentemente, carregar os caminhões com as caixas montadas. O desafio envolve a otimização do empacotamento de itens para várias lojas, considerando restrições de capacidade e priorização de itens pelo método FIFO (*First-In, First-Out*). Este problema é particularmente relevante nos contextos de logística e cadeia de suprimentos, em que a eficiência no uso do espaço e o atendimento oportuno das demandas são cruciais para a operação eficaz.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br

Para tanto, são consideradas várias restrições, incluindo o volume de itens em cada caixa, o peso e o número máximo de peças; caso a demanda do item não caiba completamente em uma caixa, é possível fatiar a alocação, respeitando-se um múltiplo de peças imposto, denominado *inner* no contexto da empresa proponente. Além das restrições principais, é essencial considerar a capacidade de transporte na esteira para cada tipo de estoque, o que impacta diretamente a eficiência do processo de empacotamento. Adicionalmente, há a restrição referente ao transporte dos caminhões em cada rota, onde as caixas estão alocadas. Por fim, cada caixa deve conter itens de apenas uma mesma loja, classe de produto e tipo de estoque.

Os dados para o desenvolvimento deste estudo foram fornecidos pela empresa proponente do desafio, no contexto da disciplina de Resolução de Problemas via Modelagem Matemática, oferecida pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), *campus* de São José dos Campos. Os autores colaboraram estreitamente com a Companhia Lojas Renner S.A. para o desenvolvimento e solução do desafio.

4. Modelagem

A seguir serão apresentadas duas abordagens para a resolução do problema proposto: uma formulação matemática, com um método exato para alcançar a solução ótima; e uma aproximada, via heurística, para alcançar uma boa solução viável.

4.1. Modelo Exato

Dado que temos n itens i para empacotar para r lojas k, cada uma com um peso w_{ik}, um volume v_{ik} e uma quantidade de peças d_{ik} para todo $i \in \{1, ..., n\}$ e $k \in \{1, ..., r\}$, e um número m de caixas j com uma capacidade em peso idêntica cp, capacidade volumétrica distinta cv_k e uma capacidade em número de peças np_k. Então temos:

Variáveis de decisão:

ξ_{ijk}= número de vezes em que o múltiplo mínimo (*inner*) de peças do item i foi adicionado à caixa j para a loja k

y_{jk}= 1 se a caixa j é atribuída à loja k; ou 0, caso contrário.

Função objetivo:

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{r} y_{jk} \tag{1}$$

Restrições:

$$\sum_{i=1}^{n} w_{ik}\xi_{ijk} \cdot inner_{ik} \leq cp \cdot y_{jk} \qquad \forall j \in \{1, ..., m\}, k \in \{1, ..., r\} \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} v_{ik}\xi_{ijk} \cdot inner_{ik} \leq cv_k \cdot y_{jk} \qquad \forall j \in \{1, ..., m\}, k \in \{1, ..., r\} \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \xi_{ijk} \cdot inner_{ik} \leq np_k \cdot y_{jk} \qquad \forall j \in \{1, ..., m\}, k \in \{1, ..., r\} \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{m} \xi_{ijk} \cdot inner_{ik} = d_{ik} \qquad \forall i \in \{1, ..., n\}, k \in \{1, ..., r\} \tag{5}$$

$$\xi_{ijk} \geq 0 \in \mathbb{Z} \qquad \forall i \in \{1, ..., n\}, j \in \{1, ..., m\}, k \in \{1, ..., r\} \tag{6}$$

$$y_{jk} \in \{0, 1\} \qquad \forall j \in \{1, ..., m\}, k \in \{1, ..., r\} \tag{7}$$

Onde:

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br

- n: Número de itens i
- r: Número de lojas k
- m: Número de caixas j

Para cada item i e loja k:

- w_{ik}: Peso do item i destinado à loja k
- v_{ik}: Volume do item i destinado à loja k
- d_{ik}: Quantidade de peças do item i demandada pela loja k
- $inner_{ik}$: Mínimo múltiplo da quantidade de peças do item i demandada pela loja k
- Capacidade de Peso das Caixas: Cada caixa j tem uma capacidade de peso idêntica cp
- Capacidade Volumétrica das Caixas: Cada loja k tem uma capacidade volumétrica distinta cv_k
- Capacidade em Número de Peças das Caixas: Cada loja k tem uma capacidade em número de peças np_k.

A função objetivo (1) representa a minimização do número de caixas utilizadas. As restrições (2), (3) e (4) garantem que os itens i alocados em cada caixa j não excedam a capacidade em peso, volume e número de peças de cada caixa, respectivamente, se a caixa j é usada para a loja k; a restrição (5) impõe que toda a demanda deve ser atendida; e as restrições (6) e (7) indicam o tipo das variáveis.

4.2. Heurística

A heurística *First Fit Decreasing* (FFD) consiste em, incialmente ordenar todos os itens em ordem decrescente de tamanho (peso, volume, ou qualquer outra medida relevante). Este passo garante que os itens maiores sejam considerados primeiro, o que tende a melhorar a utilização dos espaços disponíveis nas caixas. Na sequência, cada item é alocado na primeira caixa que tenha capacidade suficiente para comportá-lo. Se nenhuma das caixas existentes puder acomodar o item, uma nova caixa é aberta.

Considerando as restrições de negócio para o presente problema, foram realizadas modificações específicas: os itens são ordenados de forma decrescente pelo tempo de espera, calculado como a diferença entre a data mais recente e a data de cada item. Em caso de empates, os itens são ordenados, também de forma decrescente, pelo volume de cada item. Uma nova caixa é aberta se houver capacidade, em termos de volume, na rota para a qual a caixa será direcionada; ao atingir o limite de volume da rota, os demais itens são reservados para uma nova alocação no dia seguinte. As capacidades da caixa são: número de itens, peso e volume. Por fim, cada caixa deve conter itens de apenas uma mesma loja, classe de produto e tipo de estoque.

A seguir apresenta-se a heurística FFD, em pseudocódigo, conforme o *Algorithm* 1.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br

Algorithm 1 FFD: Alocação de Itens em Caixas

Entrada: Lista de itens, restrições de caixas, restrições de rotas
Saída: Lista de caixas com itens alocados, Lista de itens não alocados

Ordenação dos Itens:
1. Ordenar itens por tempo de espera (decrescente)
2. Em caso de empate, ordenar itens por volume (decrescente)

Alocação dos Itens:

for all item na lista ordenada **do**
    item_alocado ← falso

    for all caixa existente na lista de caixas **do**

        if caixa tiver capacidade suficiente e atender às restrições **then**
            Alocar item na caixa
            Atualizar capacidade da caixa
            item_alocado ← verdadeiro
        end if

        if item_alocado é falso **then** ▷ Verificar restrições de capacidade da rota

            if possível criar uma nova caixa **then**
                Criar nova caixa
                Alocar item na nova caixa
                Adicionar nova caixa à lista de caixas
            else
                Adicionar item à lista de itens não alocados
            end if
        end if
    end for
end for

Respeitar Restrições Operacionais:
3. Garantir que todas as caixas respeitem as seguintes restrições:
    a. Volume máximo
    b. Peso máximo
    c. Número máximo de peças
    d. Loja correspondente
    e. Rota específica
    f. Tipo de estoque
    g. Classe de produto

Retornar Lista de caixas com itens alocados, Lista de itens não alocados
Fim do Algoritmo

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br

5. Metodologia e Resultados

Para o desenvolvimento da heurística, foi escolhido Python como linguagem de programação, o que se justifica pela sua versatilidade e praticidade. Já para a modelagem exata, foi utilizada a linguagem de programação matemática AMPL *(A Mathemathical Programming Language)* juntamente com o *solver* HIGHS.

Para o processamento dos dados, o computador utilizado possui processador 13ª Gen Intel(R) Core(TM) i7-1355U 1.70 GHz, com RAM instalada de 16,0 GB (utilizável: 15,7 GB), com sistema operacional de 64 bits, e processador baseado em x64.

Para avaliar o desempenho da heurística FFD em comparação à modelagem exata no problema de empacotamento em um cenário de restrições reais do varejo do setor de moda, foram geradas amostras de problemas com tamanhos variados a partir dos dados de um dia padrão de operação. O objetivo foi obter amostras de tamanho viável para analisar como as soluções fornecidas pela heurística se comparam às soluções ótimas obtidas pela modelagem exata, dado que o tempo de execução do modelo exato se mostrou muito elevado para conjuntos com grandes instâncias.

A Tabela 1 apresenta os resultados comparativos entre a modelagem exata e a heurística FFD para diferentes tempos de execução, quantidade de itens selecionados e somatória do volume total desses itens. O limitante inferior foi obtido por meio do *solver* no modelo exato, indicando que a solução ótima seria maior ou igual ao valor apresentado. O GAP representa o quão distante a solução encontrada está do limitante inferior; quando o GAP no modelo exato atinge o valor de 0%, o limitante inferior coincide com o valor ótimo.

Tabela 1: Comparação dos resultados entre o modelo exato e a heurística para o problema de *Bin Packing*

Modelo	Itens	Volume total (mm^3)	Solução (qtde. Caixas)	Tempo de execução (s)	GAP (%)	Limitante Inferior
FFD	604	1 494 112 291	20	<01	0.00	20
Exato	604	1 494 112 291	20	2.7	0.00	20
FFD	1021	3 066 413 006	45	0.1	8.89	41
Exato	1021	3 066 413 006	41	14.3	0.00	41
FFD	1660	9 408 168 918	97	0.5	1.03	96
Exato	1660	9 408 168 918	96	6.9	0.00	96
FFD	2290	9 012 843 586	124	0.4	7.26	115
Exato	2290	9 012 843 586	118	900.0	2.54	115
FFD	3085	12 390 885 045	175	0.6	8.00	161
Exato	3085	12 390 885 045	165	900.0	2.42	161
FFD	4032	17 791 897 922	241	1.3	2.07	236
Exato	4032	17 791 897 922	238	900.0	0.84	236
FFD	5496	23 263 872 349	309	1.8	1.29	305
Exato	5496	23 263 872 349	309	900.0	1.29	305
FFD	7589	30 081 014 981	395	3.2	1.77	388
Exato	7589	30 081 014 981	393	900.0	1.27	388
FFD	8739	41 264 636 031	551	5.7	0.73	547
Exato	8739	41 264 636 031	560	900.0	2.32	547
FFD	9312	35 353 480 220	464	4.3	1.08	459
Exato	9312	35 353 480 220	501	900.0	8.38	459

Observa-se que, em geral, os resultados obtidos pela modelagem exata tendem a demandar

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br

maior tempo de execução conforme a quantidade de itens aumenta; salienta-se que para o modelo exato foi imposto um tempo limite de execução de 900s, aderente a demandas do negócio. Por outro lado, a heurísticas consegue manter uma proximidade razoável com as soluções ótimas em muitos casos, assim como a literatura aponta, especialmente para problemas menores. Isso, somado ao baixo tempo de execução da heurística, mesmo em cenários de conjuntos maiores de itens, ressalta sua utilidade em contextos em que a rapidez na obtenção de uma solução é prioritária e o tamanho do conjunto de itens é um fator relevante.

6. Conclusão

No contexto do varejo de moda, onde o processamento de grandes volumes de itens é uma demanda constante e podemos ter um elevado número de restrições de negócio, a heurística *Firts Fit Decreasing* se destaca como uma ferramenta eficaz, de fácil implementação e adaptação na otimização do empacotamentos. Os resultados obtidos demonstram a competência do FFD em oferecer soluções competitivas, com um custo computacional mínimo, mesmo diante de restrições de negócio distintas.

O rápido tempo de execução do FFD, aliado à sua capacidade de fornecer soluções aceitáveis em curtos intervalos de tempo, torna-o uma escolha atrativa para situações em que a agilidade na obtenção de soluções é prioritária. Isso é particularmente relevante no contexto do varejo de moda, onde a eficiência operacional é crucial para atender à demanda do mercado em constante mudança.

Para trabalhos futuros, destaca-se a oportunidade de explorar outras variáveis pertinentes que possam representar melhor os objetivos do negócio de varejo e moda, como por exemplo, o custo total de transporte [R. et al., 2009; Wang et al., 2022], a roteirização etc. Ademais, considerando a revisão da literatura, há perspectivas promissoras para utilização de outras opções de heurísticas, tais como *weight annealing (WA)* [Loh et al., 2008] e algoritmos genéticos [Dokeroglu e Cosar, 2014].

Referências

Delorme, M. et al. (2016). Bin packing and cutting stock problems: Mathematical models and exact algorithms. *European Journal of Operational Research*, 255:1–20.

Dokeroglu, T. e Cosar, A. (2014). Optimization of one-dimensional bin packing problem with island parallel grouping genetic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 75:176–186.

Dowsland, K. A. e Dowsland, W. B. (1992). Packing problems. *European Journal of Operational Research*, 56(1):2–14.

Dyckhoff, H. (1990). Cutting and packing. *Management Science*.

Dósa, G., Li, R., Han, X., e Tuza, Z. (2013). Tight absolute bound for first fit decreasing bin-packing: FFD(L) $\leq$ 11/9 OPT(L) + 6/9. *Theoretical Computer Science*, 510:13–61.

Eilon, S. e Christofides, N. (1971). Loading of vehicles. *Transportation Science*.

Gehring, H., Homberger, J., et al. (1990). Studies in bin packing. *Operations Research*.

Hoto, R., Arenales, M., e Maculan, N. (2007). The one dimensional compartmentalised knapsack problem: A case study. *European Journal of Operational Research*, 183:1183–1195.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br

Johnson, D. S. (1973). *Near-Optimal Bin Packing Algorithms*. Ph.d. thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

Loh, K.-H., Golden, B., e Wasil, E. (2008). Solving the one-dimensional bin packing problem with a weight annealing heuristic. *Computers & Operations Research*, 35:2283–2291.

Marques, A. e Arenales, M. (2007). Bin packing problems. *International Journal of Production Research*.

R., R., Guazzelli, C. S., e Cunha, C. B. (2009). Heurísticas para o problema de bin-packing con bins de diferentes tamanhos no contexto logístico. In *Anais do XLI SBPO*, p. 1155–1167, Bahia. SOBRAPO.

Rosin, C., Guazzelli, A., e Cunha, A. (2009). Estudo sobre bin packing. *Journal of Optimization*, 32:5–44.

S.A., L. R. (2024). Quem somos. URL `https://www.lojasrennersa.com.br/nosso-ecossistema/quem-somos/`. [Accessed: 2024-06-04].

Scholl, A. et al. (1997). Optimization methods in bin packing. *European Journal of Operational Research*.

Wang, T., Hu, Q., e Lim, A. (2022). An exact algorithm for two-dimensional vector packing problem with volumetric weight and general costs. *European Journal of Operational Research*, 300: 20–34.

DOI: 10.59254/sbpo-2024-193632
https://proceedings.science/p/193632?lang=pt-br