



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



PORTIFÓLIO BIBLIOGRÁFICO SOBRE A OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA DO CARREGAMENTO DE ITENS, UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

THIAGO DA SILVA PINAFFI – thiagospinaffi@gmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ - UEM - MARINGÁ

GLÉLCIO AUGUSTO MARTINS - glleiciomartins@hotmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ - UEM - MARINGÁ

RAFAEL HENRIQUE PALMA LIMA - rafaelhlma@utfpr.edu.br
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR - LONDRINA

MÁRCIA MARCONDES ALTIMARI SAMED - mmasamed@uem.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ - UEM - MARINGÁ

ÁREA: 3. PESQUISA OPERACIONAL

SUBÁREA: 3.1 - MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

RESUMO: ESTE ARTIGO APRESENTA UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE O PROBLEMA DE CARREGAMENTO DE ITENS, UM TEMA CRÍTICO DEVIDO AO IMPACTO DO TRANSPORTE NOS CUSTOS DOS PRODUTOS E NA CADEIA DE SUPRIMENTOS. A PESQUISA UTILIZA UMA ABORDAGEM QUALITATIVA E QUANTITATIVA COM BASE NA METODOLOGIA METHODI ORDINATIO. O OBJETIVO GERAL É CONSTRUIR UM PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO SOBRE O TEMA, COM OBJETIVOS ESPECÍFICOS QUE INCLUEM A REALIZAÇÃO DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA, UMA ANÁLISE DESCRITIVA SOBRE INFORMAÇÕES DOS ARTIGOS PESQUISADOS, E UMA ANÁLISE DESCRITIVA OBTIDA COM BASE NA LEITURA INTEGRAL DOS ARTIGOS. O TRABALHO DESTACA A CRESCENTE DA RELEVÂNCIA DO TEMA, TAL COMO PAÍSES QUE MAIS PUBLICARAM, O PROBLEMA DESCRITO NOS ARTIGOS SELECIONADOS, ASSIM COMO MÉTODO DE RESOLUÇÃO E TIPO DE EMPRESA.

PALAVRAS-CHAVES: ALGORITMOS DE OTIMIZAÇÃO; EFICIÊNCIA DE TRANSPORTE; ANÁLISE DE MODELOS MATEMÁTICOS; BIN PACKING PROBLEM; CUTTING PROBLEM.

1. INTRODUÇÃO

O transporte tem um percentual considerável na composição dos preços de um produto, fazendo assim com que o mesmo seja constantemente objeto de estudo, visando-se assim melhorar a competitividade das corporações. Dentre outras melhorias, a otimização da utilização do espaço disponível, ou seja, alocar o maior número possível de itens no menor espaço possível, tem grande potencial para a redução de viagens desnecessárias, e consequentemente minimização de custos para as empresas (GAJDA *et al.*, 2022).

O tema desta pesquisa é a otimização combinatória do carregamento de itens. De acordo com Dyckhoff (1990), os problemas de carregamento de veículos possuem a mesma estrutura lógica dos problemas de corte (*cutting problem*) e empacotamento (*packing problem*) encontrados na literatura, e estão disseminados em diversas áreas, tais como gestão, engenharia, computação, matemática e pesquisa operacional.

De maneira geral, tais problemas consistem em alocar a maior quantidade de itens no menor número de compartimentos possível (ou menor espaço possível), sem que estes se sobreponham ou fiquem para fora do compartimento, além de seguir restrições específicas de cada caso (LODI; MARTELLO; VIGO, 2004a).

O artigo tem como objetivo geral a construção de um portfólio bibliográfico sobre o tema, e tem como objetivos específicos a realização de uma revisão sistemática da literatura utilizando-se o *Methodi Ordinatio* proposto por Pagani, Kovaleski e Resende (2015), uma análise descritiva sobre informações dos artigos pesquisados (ano de publicação e país dos autores) e uma análise descritiva obtida com base na leitura integral dos artigos selecionados.

Este artigo concentra-se na análise, compilação e síntese da pesquisa existente para fornecer uma visão abrangente do estado atual da otimização combinatória do carregamento de itens. Nesse contexto, este artigo busca contribuir para a compreensão e identificação de tendências nessa área, servindo como um guia para pesquisadores e profissionais interessados no assunto, bem como para apontar áreas promissoras para investigações futuras.

Os critérios para a inclusão/exclusão consistem na seleção somente de artigos publicados em língua inglesa e a remoção de artigos duplicados. Como critério de leitura integral tem-se a análise do título para verificar se o mesmo se encontra alinhado com a pesquisa. Os 16 primeiros artigos segundo a classificação *InOrdinatio* foram lidos integralmente.

A estrutura deste artigo está definida da seguinte forma: a Seção 2 traz o referencial

teórico a Seção 3 apresenta a metodologia utilizada, a Seção 4 os resultados da revisão sistemática da literatura e a Seção 5 traz as considerações finais do artigo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O problema em questão pode ser abordado de forma unidimensional, bidimensional e tridimensional, onde, no primeiro caso o corte/ empacotamento é realizado em apenas uma direção, sendo aplicado por exemplo no corte de tubos para unidades de aquecimento de radiadores, visando-se minimizar o comprimento necessário (DYCKHOFF, 1990).

Para um corte bidimensional duas dimensões devem ser consideradas, tal como comprimento e largura, com o intuito de minimizar a área utilizada, e pode ser aplicado em diversos contextos, tais como corte de em indústrias de madeira e vidro, definição de layout em galpões de armazenamento e arranjo de notícias em uma página de jornal (LODI; MARTELLO; VIGO, 2004a).

Já de forma tridimensional, o problema envolve as dimensões altura, largura e comprimento e busca minimizar o volume utilizado, podendo ser aplicado no carregamento de caixas em veículos, entretanto, não se limita a veículos terrestres, como é o caso de Paquay; Schyns; Limbourg (2016) que aplica o problema a cargas aéreas.

Tal problema, tanto bidimensional quanto tridimensional, é considerado NP-Difícil (BANSAL *et al.*, 2006; CRAINIC; PERBOLI; TADEI, 2009; FEKETE; SCHEPERS; VAN DER VEEN, 2007; GONÇALVES; RESENDE, 2013; PISINGER; SIGURD, 2005), ou seja, exige grande esforço computacional para que seja resolvido de maneira exata. Tal trade-off faz com que métodos exatos como a programação linear inteira possam ser utilizados em situações em que existam pequenas instâncias (pequeno número de itens) (LODI; MARTELLO; VIGO, 2004b; PAQUAY; SCHYNS; LIMBOURG, 2016), fazendo com que grande parte dos trabalhos sobre o assunto utilizem métodos heurísticos (BENNEL; SOON LEE; POTTS, 2013; GRIFFITHS *et al.*, 2019; HUANG *et al.*, 2006; IMAMICHI; YAGIURA; NAGAMOCHI, 2009; LODI; MARTELLO; VIGO, 2004a).

Um importante fator a ser considerado nesse tipo de problema é se todos os itens são iguais, ou seja, se existe uma homogeneidade - onde as peças são todas iguais, ou possuem diferenças, ou seja, é uma carga heterogênea - onde as peças são diferentes (GRIFFITHS *et al.*, 2019; PAQUAY; SCHYNS; LIMBOURG, 2016).

Existem diversas variações do problema de *cutting/ packing problem* tais como uma das mais comuns, o *Bin Packing Problem* - BPP, que consiste em armazenar uma certa quantidade de itens dentro de uma certa quantidade de recipientes/ compartimentos de

dimensões limitadas (finitas), objetivando-se realizar a utilização do menor número de compartimentos, ou seja, existe uma quantidade finita de itens de formato retangular e existe uma quantidade infinita (ou suficientemente grande) de compartimentos, no qual o objetivo é adicionar os itens no menor número possível de compartimentos (LODI; MARTELLO; VIGO, 2004b).

Entretanto, nem sempre os itens a serem adicionados possuem dimensões regulares, como é o caso do *Irregular Bin Packing Problem*, citado por Griffiths *et al.* (2019), que consiste em empacotar todos os itens, que possuem formato irregular, nas suas respectivas quantidades, dentro do menor número de compartimentos possível, sendo que, para tal problema pode ser necessário ainda o cálculo de apoios (para não danificar as peças), espaços adicionais entre as peças, e ainda a determinação da geometria mais favorável.

Lodi, Martello e Vigo (2004b) citam ainda outra variação do problema em questão, o *Strip Packing Problem*, ou problema de empacotamento de tiras, no qual existe apenas um recipiente/ compartimento, com uma ou mais dimensões infinitas (ou suficientemente grandes) e uma quantidade finita de itens que devem ser alocados de forma a minimizar o espaço utilizado.

Tal como o BPP, o *Strip Packing Problem* também possui a variação de itens irregulares, onde, no caso de um problema bidimensional por exemplo, o recipiente possui uma das dimensões fixas e a outra de comprimento infinito, onde visa-se minimizar tal comprimento através de uma otimização combinatória para colocar um determinado conjunto de polígonos (normalmente bidimensionais) dentro do recipiente retangular, onde os polígonos não são necessariamente convexos, sem que os mesmos se sobreponham ou fiquem para fora do recipiente (IMAMICHI; YAGIURA; NAGAMOCHI, 2009).

Uma outra variante do problema é o *Circle Packing Problem*, que consiste em alocar círculos menores dentro de centro de maiores, visando assim colocar a maior quantidade possível de círculos em um determinado recipiente circular de raio r ou ainda minimizar o raio r necessário para alocar uma certa quantidade de círculos, sem que os círculos se sobreponham (HUANG *et al.*, 2006).

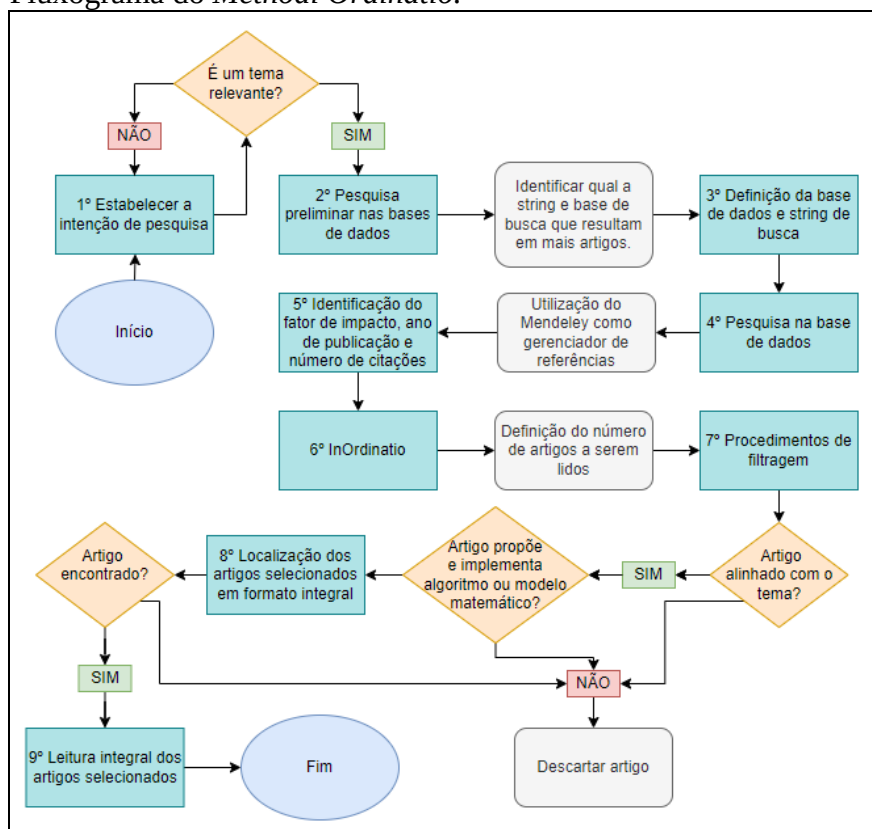
3. METODOLOGIA

Esta seção tem o intuito de descrever os procedimentos de pesquisa feitos para que a elaboração do artigo fosse possível. Tendo em vista que a quantidade de artigos sobre o tema escolhido é grande demais para que possa ser realizada uma leitura completa de todos os trabalhos, uma revisão sistemática da literatura torna-se necessária, pois assim como diz

Thomas e Harden (2008), não é possível lidar com a enorme quantidade de dados resultante ao tentar localizar, ler e interpretar todos os aspectos relevantes da pesquisa.

Para tanto, o método utilizado foi uma adaptação do *Methodi Ordinatio* (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015) que consiste nas etapas descritas na Figura 1.

FIGURA 1 - Fluxograma do *Methodi Ordinatio*.



Fonte: Adaptado de (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015).

A primeira etapa trata-se de estabelecer a intenção de pesquisa, ou seja, definir o que será pesquisado, no caso, o presente artigo tem a intenção de construir um portfólio bibliográfico sobre o problema de planejamento do carregamento de caminhões. A segunda etapa trata-se de realizar uma pesquisa preliminar nas bases de dados, ou seja, uma busca exploratória para adquirir conhecimento prévio sobre o tema.

A terceira etapa tem o objetivo de definir a base que será utilizada e a *string* de busca, onde foi escolhida somente a base de dados Scopus, e a *string* de busca pode ser vista no Quadro 1.

A *string* conta com uma busca no título/ resumo/ palavras-chave por variações de *two/three-dimensional* juntamente com variações do nome do problema: *bin packing problem*, *cutting stock problem*, *packing problem*, *knapsack problem*; o período de buscas selecionado

foi de 20 anos (de 2002 a 2022); apenas o tipo de documento “artigo” foi escolhido; somente trabalhos escritos em língua inglesa e publicados em revistas; por fim foi fixado que somente artigos que tivessem acesso aberto seriam considerados.

QUADRO 1 - *String* de busca.

String de busca
("two-dimensional" OR "three-dimensional" OR "2D" OR "3D" OR "2-dimensional" OR "3-dimensional") AND ("bin packing problem" OR "cutting stock problem" OR "packing problem" OR "knapsack problem")

Fonte: Autores.

A quarta etapa consiste na busca da *string* na base de dados selecionada, tal busca resultou em 233 trabalhos. Para armazenar e gerenciar os resultados da busca, o gerenciador de referências *Mendeley* foi utilizado. A quinta etapa tratou-se da busca pelo SJR, ano de publicação e número de citação de cada um dos trabalhos.

O SJR trata-se do *SCImago Journal Rank*, o qual é ponderado pelo prestígio de uma revista, levando-se em conta o campo temático, a qualidade e a reputação do periódico, atribuindo assim pontuações relativas as fontes em uma rede de citações (SCOPUS, 2020).

A sexta etapa tratou-se da ordenação decrescente dos artigos seguindo o *InOrdinatio*, proposto por Pagani, Kovalski e Resende (2015). Durante essa etapa, definiu-se que 16 artigos seriam lidos na íntegra, assim sendo, os 16 primeiros artigos resultantes da ordenação anterior foram selecionados.

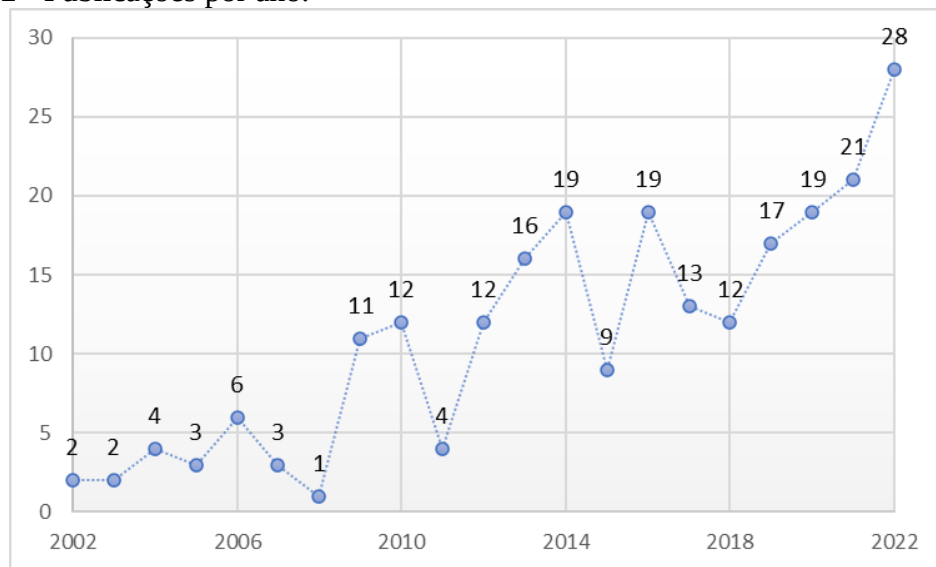
A sétima etapa consiste na filtragem dos artigos que não estivessem alinhados com o tema da pesquisa, não possuíssem e/ou não aplicassem um algoritmo ou modelo matemático fossem eliminados; para tanto, foram lidos o título, resumo, palavras-chave, e quando necessário outras partes dos artigos seguindo a ordenação anterior, até que fosse possível obter a quantidade de artigos desejada para a leitura completa.

A oitava etapa consistiu na localização dos 16 artigos selecionados na íntegra. Para o estudo em questão, todos os artigos foram localizados, entretanto caso algum não fosse encontrado, o mesmo seria substituído pelo próximo na lista. Por fim, a nona e última etapa deu-se pela leitura completa dos artigos selecionados.

4. RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Este tópico tem a intenção de mostrar os resultados obtidos durante a etapa de busca na base de dados, ordenamento, filtragem e leitura dos artigos.

FIGURA 2 - Publicações por ano.



Fonte: Autores.

FIGURA 3 - Densidade de publicações por país.



Fonte: Autores.

Analisando a Figura 2, nota-se que dentre o total de 233 artigos encontrados, durante 2002 (o início do período de buscas) e 2008, o número de publicações se manteve baixo, chegando a atingir apenas um artigo publicado no ano de 2008, subindo drasticamente no ano de 2009, quando atingiu onze publicações; entre os anos de 2009 e 2016 o número de publicações variou durante todos os anos, chegando a atingir um mínimo de quatro artigos no ano de 2011 e número de dezenove artigos em 2014 e 2016; após isso, entre 2018 e 2022 (ano de término do período de buscas), o número de artigos publicados cresceu durante todos os anos, saindo de doze em 2018 e chegando em vinte e oito em 2022.

O total de países que realizaram publicações é 53, sendo que, na Figura 3, tem-se que

países com tonalidade de azul mais forte publicaram mais do que países com tonalidades inferiores; países que estão na cor cinza não possuem publicações para a *string* de busca em questão. Visivelmente, nota-se ainda que os países com tonalidade mais forte são: China, Brasil, Estados Unidos e alguns países da Europa.

4.1. Ordenamento dos artigos seguindo o *InOrdinatio* e filtragem

Com base na busca realizada na base de dados, a identificação do fator de impacto (SRJ), número de citações e ano de publicação, foi realizado o ordenamento dos 233 artigos seguindo o *InOrdinatio*. Durante a ordenação, artigos sem o seu respectivo valor SRJ foram descartados.

TABELA 1 – Tabela de ordenamento das obras investigadas.

ARTIGO	CITAÇÃO	CITAÇÕES	SRJ 2022	INORDINATIO
1	Fekete, Schepers e Van Der Veen (2007)	152	3,579	735,00
2	Chicoisne <i>et al.</i> (2012)	117	3,579	585,00
3	Crainic, Perboli e Tadei (2009)	114	2,371	555,00
4	Gonçalves e Resende (2013)	106	3,028	535,00
5	Pisinger e Sigurd (2005)	114	0,5	535,00
6	Bansal <i>et al.</i> (2006)	98	1,435	460,00
7	Wu <i>et al.</i> (2010)	92	2,371	450,00
8	Puchinger e Raidl (2007)	92	2,371	435,00
9	Lodi, Martello e Vigo (2004b)	90	0,497	410,00
10	Huang <i>et al.</i> (2006)	76	1,716	350,00
11	Griffiths <i>et al.</i> (2019)	61	2,371	340,00

12	Imamichi, Yagiura e Nagamochi (2009)	71	0,5	340,00
13	Paquay, Schyns e Limbourg (2016)	61	1,059	325,00
14	Bennell, Soon Lee e Potts (2013)	59	3,028	300,00
15	Lodi, Martello e Vigo (2004a)	58	0,604	300,00
16	Martinez-Sykora et al. (2017)	64	1,046	280,00

Fonte: Autores.

Os procedimentos de filtragem eliminaram alguns dos artigos resultantes do processo de pesquisa, por não se enquadrarem no tema de pesquisa. A lista completa de artigos selecionados e ordenados para a leitura completa pode ser vista na Tabela 1, onde tem-se, o número do artigo (de 1 a 16), a citação, número de citações, SRJ2022, e a ordenação segundo o *InOrdinatio*.

4.2. Resultados obtidos após a leitura dos artigos

Com a realização do ordenamento dos artigos e do processo de filtragem, os 16 primeiros artigos foram lidos na íntegra, nos quais buscou-se destacar: as propriedades do espaço (compartimentos infinitos, dimensão infinita e não se aplica), tipo de objeto (retângulos/ caixas, círculos e irregular), a quantidade de dimensões utilizadas no estudo (2D ou 3D), o método de resolução (PLI - programação linear inteira, PLIM - programação linear inteira mista e Heurística), a linguagem de programação utilizada (C, C#, C++, Java ou Não informado) e o tipo de empresa (aplicado ou teórico). Na Tabela 2 é possível ver uma tabela resumida com tais dados; tal tabela foi utilizada para a elaboração das Figuras 4 e 5.

4.2.1. ANÁLISE DOS ARTIGOS

A análise dos artigos tem o intuito de identificar e apresentar as principais contribuições de cada artigo de maneira concisa e esclarecedora. Neste tópico serão apresentadas as análises qualitativas realizadas com base nos três primeiros artigos selecionados, seguida da análise descritiva de todos os artigos analisados.

Os autores Fekete, Schepers e Van Der Veen (2007) abordam a resolução eficaz de problemas complexos de empacotamento ortogonal, com foco principal no Problema de

Empacotamento Ortogonal (OKP). Os autores desenvolveram um algoritmo de busca em árvore que se baseia em uma estrutura de dados inovadora e em limites inferiores, demonstrando seu desempenho em uma ampla variedade de instâncias. Além disso, o artigo inclui a geração de novas instâncias de teste, a criação de uma biblioteca para armazenar resultados e instâncias, bem como a aplicação do método a outros problemas de empacotamento. Os resultados computacionais indicam um avanço notável na resolução de problemas de empacotamento de alta dimensionalidade, mostrando a promessa desse método para a otimização em problemas de empacotamento. Propondo e validando um algoritmo de busca em árvore para resolver problemas de empacotamento ortogonal, mostrando resultados promissores e abrindo caminho para futuras pesquisas em problemas de empacotamento e otimização.

Chicoisne *et al.* (2012) abordam o desafio de otimizar a extração de blocos de minério em mineração subterrânea, considerando a incerteza nos teores minerais, conhecido como o problema da "Política de Teor de Corte com Incerteza" (C-POUG). Eles propõem uma abordagem que combina programação linear, heurísticas e métodos de busca local, demonstrando em testes computacionais que essa abordagem pode lidar com problemas de grande porte em tempo prático, produzindo soluções de alta qualidade. A metodologia é relevante para empresas de mineração que buscam otimizar o planejamento de extração de minério e pode ser estendida para problemas mais complexos, destacando a importância de considerar a incerteza nos teores minerais na tomada de decisões de planejamento em mineração.

No artigo dos autores Crainic, Perboli e Tadei (2009), é demonstrado o problema de empacotamento de caixa tridimensional, onde objetos de diferentes tamanhos e formas precisam ser acomodados em caixas de tamanhos variados. Os autores apresentam um algoritmo de busca por tabu chamado "*TS2PACK*" para resolver esse desafio. O método de resolução envolve uma abordagem de duas etapas: primeiro, encontrar o número mínimo de caixas necessárias para acomodar todos os objetos e, em seguida, otimizar a disposição desses objetos nas caixas. Resultados computacionais demonstram que o *TS2PACK* supera outros algoritmos existentes, tornando-se uma solução eficaz para o problema de empacotamento de caixa tridimensional com tamanhos heterogêneos.

A Figura 4 ilustra as propriedades de espaço trabalhados nos artigos (tipo de compartimento), os tipos de objetos, a quantidade de dimensões e o método de resolução. Em relação ao tipo de compartimento, compartimentos infinitos (uma quantidade suficiente de compartimentos de dimensões finitas para agrupar todos os itens necessários) são trabalhados

em 11 artigos, enquanto compartimentos com dimensão infinita são estudados em 5 artigos (um único compartimento que possui dimensões suficientemente grandes para comportar todos os itens); em apenas 1 artigo lido na íntegra, essas categorização de tipos de compartimentos não se aplica. É importante ressaltar que artigos que possuem estudos dos dois casos foram incluídos em ambos.

TABELA 2 – Categorização das obras investigadas.

	Artigo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Propriedades de espaço	Compartimentos infinitos	X		X	X		X		X	X		X		X	X	X	X
	Dimensão infinita					X		X		X	X		X				
	Não se aplica		X														
Tipo de objeto	Retângulos/Caixas	X		X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	
	Círculos										X						
	Irregular		X									X	X				X
Dimensões	2D	X			X	X	X			X	X	X	X		X	X	X
	3D	X	X	X	X			X	X					X		X	
Método	PLI					X			X	X							
	PLIM							X						X			X
	Heurística	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X		X	X	X
Linguagem de programação	C		X								X						
	C#											X					
	C++	X		X	X	X							X		X		X
	Java													X			
	Não Informado						X	X	X	X						X	
Tipo de empresa	Aplicado		X									X		X			X
	Teórico	X		X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	

Fonte: Autores.

Em relação ao tipo de objeto estudado no artigo (o tipo de item que será armazenado), nota-se que o tipo que é mais comum é o de retângulos e caixas (11 artigos), seguido de objetos irregulares (4 artigos) e círculos (1 artigo). Para tal caso, nenhum artigo trabalhou com mais de um tipo de item.

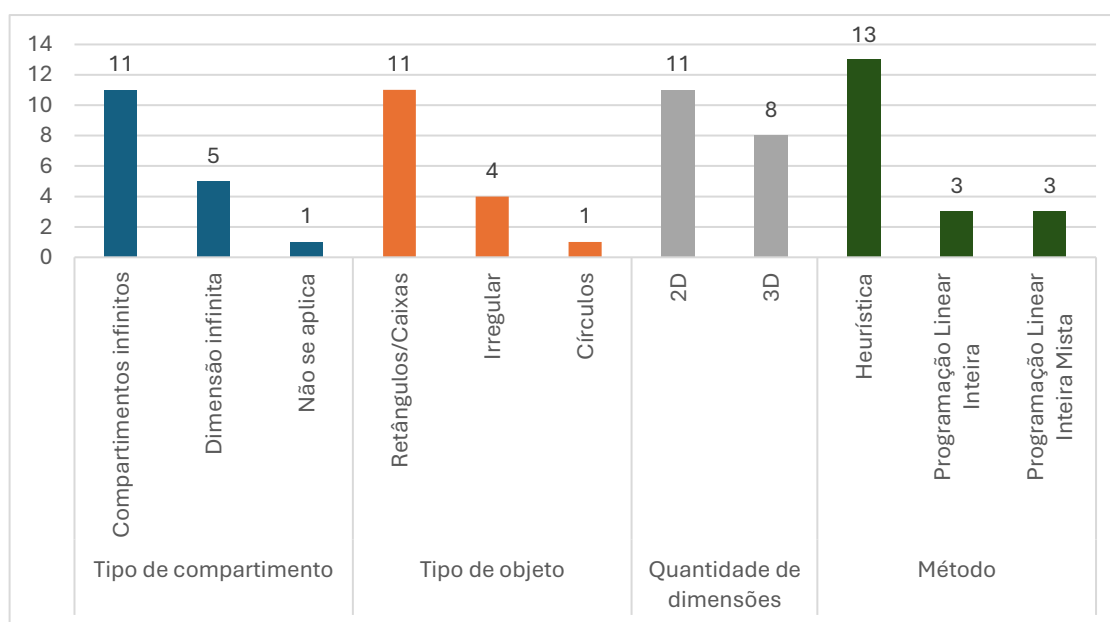
Já em relação a quantidade de dimensões abordadas no problema (se é um problema bidimensional - 2D ou tridimensional - 3D). Problemas 2D aparecem em 11 vezes, enquanto problemas 3D somente em 8. É importante ressaltar que, tal como no tipo de compartimento, artigos que possuem estudos dos dois casos foram incluídos em ambos.

O método de resolução mais comum dentre os selecionados é algum tipo de algoritmo heurístico, aparecendo em 13 artigos, seguido da programação linear inteira e programação linear inteira mista, com 3 artigos cada uma.

A Tabela 2 apresenta a linguagem de programação utilizada em cada artigo durante a

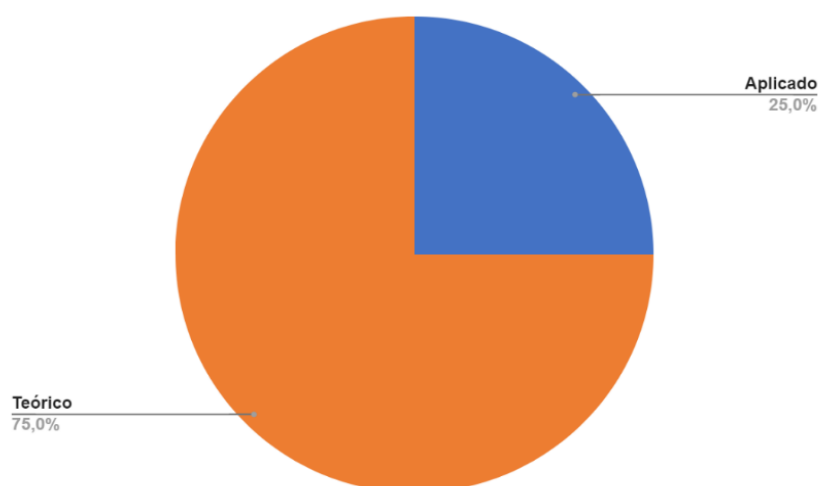
implementação computacional, revelando que a mais escolhida é alguma variação de C, utilizada em 62,5% dos casos (10 artigos), distribuída entre C++ (7 artigos), C (2 artigos) e C# (1 artigo). Java, mencionada em 5 artigos, é a única outra linguagem de programação citada. Vale destacar que 5 artigos não informaram a linguagem utilizada.

FIGURA 4 – Gráfico da categorização das obras investigadas.



Fonte: Autores.

FIGURA 8 – Tipo de empresa.



Fonte: Autores.

Por fim, foi feita uma análise em cima do tipo de empresa escolhida como base para a realização dos artigos (Figura 4), no qual constatou-se que apenas 25% dos artigos tinham

uma empresa ou setor específico para a aplicação do trabalho, enquanto 75% dos artigos não fazem qualquer menção a isso, tratando-se assim de um trabalho genérico e teórico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que o problema de otimização combinatória do carregamento de itens vem ganhando relevância ao longo dos anos, uma vez que o número de artigos ao longo do período de buscas aumentou (duas em 2002 e vinte e oito em 2022), mostrando crescente relevância do assunto.

Por meio da leitura dos artigos selecionados utilizando-se o *InOrdinatio*, nota-se que a maioria dos artigos trabalha com múltiplos compartimentos de dimensões limitadas e a grande maioria dos artigos estão relacionados ao problema de empacotamento de retângulos/ caixas (11 artigos). Revela-se ainda que mais da metade dos artigos trabalham com problemas de empacotamento bidimensionais.

Os resultados demonstram também que a heurística é a mais utilizada para a solução dos problemas (13 artigos), muito disso remete-se ao fato do problema ser NP-Difícil, ou seja, a resolução do problema utilizando-se de métodos como a programação linear torna-se difícil para instâncias reais. A pesquisa mostra ainda que variações da linguagem C são as mais utilizadas (62,50%).

Por fim, o artigo demonstra que em apenas 25% dos casos o problema é aplicado a algum tipo de empresa específico, sendo na maioria das vezes apenas um problema teórico, ou seja, os modelos são criados, mas não são testados em situações reais.

O resultado completo deste artigo serve como norteador para futuros outros trabalhos aplicados ao tema em questão, mostrando as situações mais comuns para o problema, ao passo que expõe os que ainda precisam de maiores estudos tais como problemas tridimensionais, geometrias irregulares e a utilização de métodos exatos.

Uma das principais dificuldades encontradas durante o processo de elaboração deste artigo reside na limitada capacidade de compreensão da literatura científica, devido à complexidade referente ao tema abordado. Especificamente, a interpretação dos modelos propostos em outros artigos tem se mostrado desafiadora, exigindo uma profunda análise e um entendimento aprofundado das teorias e conceitos relacionados.

Para trabalhos futuros sobre esse tema, recomenda-se uma maior abrangência temporal na revisão bibliográfica, visto que alguns clássicos relacionados ao problema de otimização combinatória do carregamento de itens foram excluídos da revisão devido às limitações de tempo e escopo. Além disso, a pesquisa pode se beneficiar de uma análise mais aprofundada

dos modelos e algoritmos utilizados nos estudos, buscando identificar tendências e inovações na resolução desses problemas.

Outra área de pesquisa promissora envolve a aplicação prática dos resultados. Dado que apenas 25% dos casos analisados neste estudo aplicavam o problema a empresas específicas, há um espaço significativo para investigar como essas técnicas podem ser implementadas no mundo real e quais benefícios podem ser obtidos em termos de eficiência operacional e economia de recursos.

Além disso, seria interessante explorar mais a fundo a aplicação de técnicas de otimização combinatória em contextos tridimensionais e com geometrias irregulares, uma vez que o estudo indicou que a maioria dos artigos estava relacionada a problemas bidimensionais. Isso poderia abrir novas perspectivas de pesquisa e aplicação prática.

Essas sugestões para trabalhos futuros visam aprofundar o conhecimento nessa área e explorar oportunidades de pesquisa que podem contribuir significativamente para o avanço do campo de otimização combinatória do carregamento de itens.

REFERÊNCIAS

- BANSAL, N.; CORREA J. R.; KENYON, C.; SVIRIDENKO, M. **Bin packing in multiple dimensions: Inapproximability results and approximation schemes**. Mathematics of Operations Research, v. 31, n. 1, p. 31–49, 2006.
- BENNEL, J. A.; SOON LEE, L.; POTTS, C. N. **A genetic algorithm for two-dimensional bin packing with due dates**. International Journal of Production Economics, v. 145, n. 2, p. 547–560, 2013.
- CRAINIC, T. G.; PERBOLI, G.; TADEI, R. **TS2PACK: A two-level tabu search for the three-dimensional bin packing problem**. European Journal of Operational Research, v. 195, n. 3, p. 744–760, jun. 2009.
- DYCKHOFF, H. **A typology of cutting and packing problems**. European Journal of Operational Research, v. 44, n. 2, p. 145–159, jan. 1990.
- FEKETE, S. P.; SCHEPERS, J.; VAN DER VEEN, J. C. **An Exact Algorithm for Higher-Dimensional Orthogonal Packing**. Operations Research, v. 55, n. 3, p. 569–587, jun. 2007.
- GAJDA, M.; TRIVELLA, A.; MANSINI, R.; PISINGER, D. **An optimization approach for a complex real-life container loading problem**. Omega, v.107, 2022.
- GONÇALVES, J. F.; RESENDE, M. G. C. **A biased random key genetic algorithm for 2D and 3D bin packing problems**. International Journal of Production Economics, v. 145, n. 2, p. 500–510, 2013.
- GRIFFITHS, V.; SCANLAN, J. P.; ERES, M. H.; MARTINEZ-SYKORA, A;

- CHINCHAPATNAM, P. **Cost-driven build orientation and bin packing of parts in Selective Laser Melting (SLM)**. European Journal of Operational Research, v. 273, n. 1, p. 334–352, 2019.
- HUANG, W. Q.; LI, Y.; LI, C. M.; XU, R. C. **New heuristics for packing unequal circles into a circular container**. Computers and Operations Research, v. 33, n. 8, p. 2125–2142, 2006.
- IMAMICHI, T.; YAGIURA, M.; NAGAMOCCHI, H. **An iterated local search algorithm based on nonlinear programming for the irregular strip packing problem**. Discrete Optimization, v. 6, n. 4, p. 345–361, 2009.
- LODI, A.; MARTELLO, S.; VIGO, D. **TSpack: A unified tabu search code for multi-dimensional bin packing problems**. Annals of Operations Research, v. 131, n. 1–4, p. 203–213, 2004a.
- LODI, A.; MARTELLO, S.; VIGO, D. **Models and bounds for two-dimensional level packing problems**. Journal of Combinatorial Optimization, v. 8, n. 3, p. 363–379, 2004b.
- MARTINEZ-SYKORA, A.; ALVAREZ-VALDES, R.; BENNELL, J. A.; TAMARIT, J. M. **Matheuristics for the irregular bin packing problem with free rotations**. European Journal of Operational Research, v. 258, n. 2, p. 440–455, 2017.
- PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. **Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication**. Scientometrics, v. 105, p. 2109–2135, dez. 2015.
- PAQUAY, C.; SCHYNS, M.; LIMBOURG, S. **A mixed integer programming formulation for the three-dimensional bin packing problem deriving from an air cargo application**. International Transactions in Operational Research, v. 23, n. 1–2, p. 187–213, 2016.
- PISINGER, D.; SIGURD, M. **The two-dimensional bin packing problem with variable bin sizes and costs**. Discrete Optimization, v. 2, n. 2, p. 154–167, 2005.
- SCOPUS. **How is SJR (SCImago Journal Rank)** Disponível em: <https://service-elsevier-com.ez79.periodicos.capes.gov.br/app/answers/detail/a_id/14883/supporthub/scopus/kw/sjr/>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.
- THOMAS, J.; HARDEN, A. **Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews**. BMC Medical Research Methodology, v. 8, 2008.
- WU, Y.; LI, W.; GOH, M.; SOUZA, R. **Three-dimensional bin packing problem with variable bin height**. European Journal of Operational Research, v. 202, n. 2, p. 347–355, 2010.