

## EDIÇÃO ESPECIAL PROBLEMAS DE CORTE E EMPACOTAMENTO

Elsa Silva<sup>a \*</sup>, Kelly Poldi<sup>b †</sup>

<sup>a</sup> Universidade of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057, Braga, Portugal

<sup>b</sup> Universidade Estadual de Campinas, Rua Sérgio Buarque de Holanda, 651, Cidade Universitária, CEP: 13083-859, Campinas-SP

Os Problemas de Corte e Empacotamento (PCE) são problemas de otimização combinatória de resolução particularmente difícil, sendo a maioria classificados como *NP-hard*. Esses problemas surgem em diversas aplicações do mundo real, tanto na indústria quanto nos serviços, sempre que é necessário dividir objetos ou espaços maiores em itens menores, com o objetivo de minimizar o desperdício. Exemplos práticos incluem rolos de papel cortados em larguras menores na indústria do papel; placas de madeira cortadas em painéis retangulares mais pequenos na indústria moveleira; rolos de tecido cortados em formas irregulares na confecção de roupa. Além disso, esses problemas também estão presentes no empacotamento de caixas em contentores ou paletes, essencial em muitas atividades logísticas. Em comum, todos esses problemas têm um subproblema geométrico, derivado das restrições de não sobreposição entre os vários itens.

Na literatura, os PCEs têm sido amplamente estudados Wäscher *et al.* (2007); Oliveira *et al.* (2023), com as primeiras publicações seminais surgindo nos anos 1960 Kantorovich (1960); Gilmore & Gomory (1961, 1965). Desde então, o número de publicações na área cresceu consideravelmente, especialmente nos últimos anos Iori *et al.* (2021). Dada a relevância e a vasta aplicabilidade desses problemas, esta edição especial da Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento apresenta cinco artigos que destacam os recentes avanços nos problemas de corte e empacotamento.

No artigo “Comparação entre pacotes computacionais baseados em *branch-and-cut* para empacotamento de retângulos”, Pedro Belin Castelluccia, Aline A. S. Leão e Eduardo Delcides Bernardes implementam dois modelos de Programação Linear Inteira Mista em quatro pacotes computacionais. Dois desses pacotes são comerciais de alto desempenho (CPLEX e Gurobi), enquanto os outros dois são de código aberto (CBC e SCIP), oferecendo alternativas de baixo custo para a indústria. Os resolvedores baseados em *branch-and-cut* foram avaliados considerando os dois modelos de Programação Linear Inteira Mista para a solução de instâncias da literatura para o problema de empacotamento de itens retangulares de maior valor no recipiente retangular maior. Os resultados oferecem não apenas uma comparação entre os pacotes e modelos, mas também *insights* gerenciais sobre o custo-benefício de investir em licenças de *softwares* comerciais.

O problema de minimizar o comprimento de ciclo em máquinas de corte em uma indústria fabricante de vidro automotivo foi abordado pelos autores Ernée Kozyreff Filho, Silvio Alexandre de Araújo no artigo intitulado “Minimização do comprimento de ciclo em máquinas de corte de vidro”. O problema foi modelado como um Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem-TSP*)

\* Autor para correspondência. E-mail: elsa@dps.uminho.pt

† Autor para correspondência. E-mail: kelly@ime.unicamp.br

e um Problema do Carteiro Rural (*Rural Postman Problem-RPP*) usando um mesmo grafo. Os experimentos computacionais utilizando instâncias práticas mostram que o tempo computacional para resolver uma instância está diretamente relacionado com o tamanho do grafo e com o número par ou ímpar do número de linhas verticais e horizontais no padrão de corte.

No artigo “Proposta e aplicação de um método para seleção de *softwares* de geração de padrões e planos de corte em micro e pequenas empresas moveleiras”, Nádyá Zanin Muzulon, Gislaíne Camila Lapasini Leal e Rafael Henrique Palma Lima apresentam um método baseado em técnicas de multi-critério para orientar a seleção de *softwares* de corte em MPEs moveleiras. Após identificar as principais ferramentas disponíveis e suas funcionalidades, o método foi aplicado em uma empresa real, permitindo identificar quais alternativas de *software* melhor atendiam às suas necessidades. A comparação entre os padrões de corte gerados pelos *softwares* e aqueles obtidos manualmente pela empresa demonstrou as vantagens significativas dos *softwares*, tanto na rapidez quanto na redução de desperdício de material.

Arthur Medeiros Figueiredo Barreto, Adriana Cristina Cherri, Luiz Henrique Cherri e Douglas Nogueira do Nascimento, no artigo “O uso de  $k$ -soluções para o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis”, investigam o impacto da inserção de  $k$ -soluções a cada iteração no método de geração de colunas. Foram propostas quatro estratégias para resolver o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis, utilizando o algoritmo de geração de colunas. As estratégias propostas consistem em inserir múltiplos padrões de corte no problema mestre a cada iteração, com o objetivo de acelerar a convergência para uma solução ótima. Para avaliar o desempenho dessas estratégias, foram analisados o número de iterações e o tempo computacional necessários para resolver classes de instâncias geradas aleatoriamente. Além disso, foi estudada a variação do valor de  $k$  para determinar seu impacto no número de iterações e no tempo computacional em comparação com a geração de colunas tradicional.

No artigo “Um algoritmo de *branch-and-cut* para o problema do empacotamento bidimensional em contêineres na presença de conflitos”, os autores Ana Clara N. dos Santos, Charbel D. Boulos, Mário C. San Felice e Pedro Hokama abordam o desafio de alocar itens de tamanhos diferentes no menor número possível de contêineres, respeitando restrições de conflito entre os itens. Os autores apresentam um modelo de Programação Linear Inteira que envolve um número exponencial de restrições destinadas a eliminar conjuntos de itens conflitantes em um mesmo contêiner. Essas restrições não são adicionadas previamente, mas sim introduzidas dinamicamente quando se detecta que uma delas foi violada durante o processo de *branch-and-bound*. Combinando Programação por Restrições, pré-processamentos, cortes e técnicas para quebra de simetrias, os resultados obtidos demonstram a eficácia das técnicas aplicadas, evidenciando a importância das melhorias introduzidas.

No artigo “A movimentação da pistola de corte no processo de corte a plasma de chapas metálicas retangulares”, de autoria de David Disconzi, Alvaro Neuenfeldt Júnior, Matheus Francescato, Vinícius Kunz, Marcelo da Silva e Simone Merlini, é discutida uma aplicação prática do problema de corte na indústria metalmeccânica. O estudo foca na movimentação da pistola de corte em problemas de empacotamento de itens retangulares em uma chapa metálica de altura indefinida. A solução ótima e duas soluções alternativas são determinadas por meio de um modelo de Programação Linear Inteira, utilizando um resolvedor. Posteriormente, essas soluções são simuladas digitalmente na máquina de corte, sendo avaliadas com base nos outputs do simulador do processo de corte, que incluem o tempo total de processamento e as distâncias percorridas pela pistola de corte. Os resultados computacionais destacam a importância do equilíbrio entre a redução do desperdício de matéria-prima

e a otimização dos tempos operacionais do processo de corte.

Agradecemos aos autores por suas contribuições a esta edição especial, aos revisores anônimos pelo rigor na avaliação e à equipe editorial da Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento pelo apoio na realização desta edição especial. Desejamos aos leitores uma agradável e proveitosa leitura.

## Referências

Gilmore, Paul C, & Gomory, Ralph E. 1961. A linear programming approach to the cutting-stock problem. *Operations research*, **9**(6), 849–859.

Gilmore, Paul C, & Gomory, Ralph E. 1965. Multistage cutting stock problems of two and more dimensions. *Operations research*, **13**(1), 94–120.

Iori, Manuel, de Lima, Vinícius L., Martello, Silvano, Miyazawa, Flávio K., & Monaci, Michele. 2021. Exact solution techniques for two-dimensional cutting and packing. *European Journal of Operational Research*, **289**(2), 399–415.

Kantorovich, Leonid V. 1960. Mathematical methods of organizing and planning production. *Management science*, **6**(4), 366–422.

Oliveira, Óscar, Gamboa, Dorabela, & Silva, Elsa. 2023. An introduction to the two-dimensional rectangular cutting and packing problem. *International Transactions in Operational Research*, **30**(6), 3238–3266.

Wäscher, Gerhard, Haußner, Heike, & Schumann, Holger. 2007. An improved typology of cutting and packing problems. *European journal of operational research*, **183**(3), 1109–1130.