

Abordagem de fluxo em arcos para o problema de corte de estoque multiperíodo com modos alternativos de manufatura

Heloisa Vasques da Silva¹

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FEB, Bauru-SP, Brasil

Silvio Alexandre de Araujo²

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ibilce, São José do Rio Preto-SP, Brasil

O problema de corte de estoque unidimensional com modos alternativos de manufatura foi proposto por [5] e descreve a situação em que objetos unidimensionais de diferentes espessuras devem ser cortados para fabricação de produtos que possuem mais de um modo de manufatura. Cada modo de manufatura é caracterizado por uma combinação de itens de tamanhos e espessuras variados. A motivação para o estudo foi o processo de corte de barras de ferro na indústria de artefatos de concreto para a construção civil, em que um único requisito técnico de força cortante pode ser atendido utilizando combinações diferentes de espessuras e tamanhos de barras. O objetivo do problema é atender a demanda dos produtos, escolhendo os modos de produção mais convenientes a fim de minimizar o custo total de matéria-prima, no caso, barras de ferro.

Em [5], o problema foi modelado utilizando padrões de corte e programação linear inteira. O método de solução utilizou um procedimento de geração de colunas baseado em [3, 4] em conjunto com uma heurística. Em [6], o problema foi modelado com base em formulações de fluxo em arcos e resolvido de maneira exata por meio de pacotes computacionais.

O problema de corte de estoque unidimensional é modelado por [7] como um problema de fluxo mínimo em um grafo acíclico direcionado, em que os vértices representam posições no objeto, e os arcos representam o corte de um item em uma determinada posição no objeto, ou podem representar perda de material. Como o modelo apresenta muitas soluções simétricas e seu comportamento computacional depende do conjunto de arcos, algumas formas de redução são estudadas na literatura (por exemplo, [2]). A partir da ordenação dos itens proposta por [7], [1] apresentaram o princípio *meet-in-the-middle*, cuja ideia é alinhar os padrões de corte a partir de uma determinada posição no objeto e eliminar possíveis padrões de corte repetidos. Além disso, os autores propuseram reduções também para os arcos que representam perda de material.

Neste trabalho, estendemos o problema de corte de estoque com modos alternativos de manufatura para o caso multiperíodo, considerando o estoque de itens e de produtos finais. Para isso, utilizamos a formulação de fluxo em arcos de [7] para modelar o problema de corte de estoque unidimensional em conjunto com a abordagem *meet-in-the-middle* de [1] para a formação dos arcos do modelo. O objetivo foi minimizar o custo total de matéria-prima, de estoque de produtos acabados e de estoque de itens cortados.

A fim de explorar o desempenho do modelo, foi proposto um conjunto de instâncias baseadas em [5], incluindo dados referentes aos horizontes de planejamento e custos de estoque. Combinando variações nos parâmetro de número de períodos (5 ou 10), número de itens (20,

¹heloisa.vasques@unesp.br

²silvio.araujo@unesp.br

30 ou 40) e tamanho dos itens (pequenos, grande ou variados), 18 classes de instâncias foram propostas, cada uma com 5 instâncias diferentes, totalizando 90 instâncias. Os experimentos foram realizados em um computador com 16GB de memória RAM e processador Intel Core i7-1165G7, utilizando o CPLEX 12.10 para resolver o problema e linguagem OPL para codificar o modelo. Os dados foram submetidos ao modelo com um tempo limite de 300 segundos (5 minutos) para cada instância encontrar uma solução. Pelo CPLEX, coletamos os limitantes (superior e inferior), o gap, o tempo de solução e quantidade de variáveis e restrições de cada instância.

Das 90 instâncias, 15 (17%) não foi possível encontrar uma solução factível no tempo determinado, sendo todas elas com itens de tamanho pequeno. As outras 75 (83%) instâncias em que foi possível encontrar uma solução factível, possuem gap médio de 5,4% e tempo médio de 214 segundos, sendo que 23 dessas instâncias tiveram gap menor que 0,01%. As que continham itens grandes foram as que apresentaram o menor gap médio (0,01%) e menor tempo de solução médio (101 segundos).

Os resultados apresentam gaps e tempos satisfatórios para problemas dessa dimensão, porém, ainda há necessidade de validar o modelo com diferentes instâncias e verificar demais parâmetros que influenciam a resolução do modelo. Alterações possíveis podem se dar na demanda dos produtos e nos custos (de matéria-prima e estoque). Também pode-se considerar uma penalidade para a perda de matéria-prima e a capacidade de produção em cada período. Além disso, a validação dos parâmetros com um exemplo industrial real também é necessária.

Referências

- [1] J. F. Côté e M. Iori. The meet-in-the-middle principle for cutting and packing problems. *INFORMS Journal on Computing*, 30(4):646–661, 2018.
- [2] M. Delorme e M. Iori. Enhanced pseudo-polynomial formulations for bin packing and cutting stock problems. *INFORMS Journal on Computing*, 32(1):101–119, 2020.
- [3] P. C. Gilmore e R. E. Gomory. A linear programming approach to the cutting-stock problem. *Operations Research*, 9(6):849–859, 1961.
- [4] P. C. Gilmore e R. E. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem—part ii. *Operations research*, 11(6):863–888, 1963.
- [5] F. K. Lemos, A. C. Cherri, e S. A. de Araujo. The cutting stock problem with multiple manufacturing modes applied to a construction industry. *International Journal of Production Research*, 59(4):1088–1106, 2021.
- [6] H. V. Silva, F. K. Lemos, A. C. Cherri, e S. A. de Araujo. Arc-flow formulations for the one-dimensional cutting stock problem with multiple manufacturing modes. *RAIRO - Operations Research*, 1–18, 2023.
- [7] J. M. Valério De Carvalho. Exact solution of bin-packing problems using column generation and branch-and-bound. *Annals of Operations Research*, 86:629–659, 1999.