

## Problemas Integrados no Processo de Produção de Móveis

Carla T. L. S. Ghidini<sup>1</sup> Washington A. Oliveira<sup>2</sup>

FCA - UNICAMP, Limeira, SP

Ariquèle R. Rios<sup>3</sup>

IMECC - UNICAMP, Campinas, SP

O setor de móveis no Brasil vem apresentando um crescimento considerável nos últimos anos. Diferentemente de outros setores que tiveram prejuízos causados pelo início da pandemia, o setor moveleiro não apenas se manteve forte no mercado, como também melhorou. O fato das pessoas passarem mais tempo em casa devido às recomendações de saúde explica parcialmente este fortalecimento. A nova rotina, que incluiu adaptações nos lares, como trabalho remoto, aulas virtuais e treinos domésticos, impulsionou a demanda por móveis. Em 2023, de acordo com a Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário havia 21.700 empresas registradas, gerando 270.267 empregos diretos. Até abril deste mesmo ano, o Brasil ocupava o sexto lugar em produção mundial de móveis e o vigésimo sexto em exportação. Visto que a indústria de móveis brasileira está inserida em um mercado bastante competitivo, a utilização de técnicas de otimização para minimizar os custos associados ao processo produtivo torna-se um fator crucial.

As indústrias de móveis brasileiras utilizam como matéria-prima principal placas retangulares, que podem ser de diferentes materiais (madeira, metal e plástico), tamanhos e espessuras e que, geralmente, são compradas antecipadamente, em tamanhos grandes e padronizados e em quantidades previamente definidas. Neste trabalho, tratamos o processo produtivo de indústrias de pequeno porte, que fabricam móveis com formas simples e retas e feitos com placas de MDF. Tal processo envolve diversas etapas, tais como, corte de placas em peças, furação de peças, montagem dos produtos, pintura e acabamento, embalagem e estocagem.

O uso de modelos matemáticos que integram os problemas de dimensionamento de lotes e corte de estoque presentes no processo produtivo da indústria de móveis podem ser muito úteis para auxiliar no planejamento e programação da produção visando a minimização de custos. Assim, propomos um novo modelo de otimização linear inteira que distingue-se dos modelos da literatura por abordar simultaneamente quatro níveis de produção: aquisição de placas (objetos), corte de objetos em peças, furação de peças cortadas e embalagem e estocagem dos produtos. A integração desses níveis foi alcançada por meio de restrições matemáticas que os conectam. Além disso, para que o modelo fique mais realista e adequado para lidar com os desafios enfrentados pelas indústrias de móveis foram considerados: um horizonte de planejamento finito dividido em períodos, que permite antecipar a fabricação dos produtos, a compra de objetos, o corte de peças e, consequentemente, a estocagem de todos eles, tempos e custos de preparação de máquinas para as etapas de corte e furação, capacidades limitadas dos equipamentos e demanda esperada para o horizonte além da demanda em carteira.

O modelo matemático desenvolvido pode ser classificado como NP-difícil e com o objetivo de validá-lo e também analisar o seu desempenho, uma heurística baseada no método de geração de colunas foi implementada, a qual é adequada para modelos que envolvem um grande número de variáveis inteiras. Esta heurística consiste basicamente de duas etapas: na primeira etapa, todas

---

<sup>1</sup>cghidini@unicamp.br

<sup>2</sup>waoliv@unicamp.br

<sup>3</sup>ariquèle@hotmail.com

as variáveis inteiras e binárias foram relaxadas tornando-se contínuas e o modelo resultante foi resolvido usando o método simplex com geração de colunas; na segunda etapa, para obter uma solução inteira, o problema mestre restrito resolvido na última iteração da geração de colunas, é resolvido novamente considerando todas as variáveis como inteiras e binárias. Três critérios de parada para a heurística foram usados: por otimalidade, por valor da função objetivo (se não muda significativamente entre as iterações, no caso,  $10^{-8}$ ) e por limite de tempo (1800s).

Experimentos computacionais preliminares foram realizados, utilizando cinco classes, com 20 exemplares em cada, criadas a partir de dados reais de uma indústria de móveis de pequeno porte variando os parâmetros: quantidade de espessuras, dimensões dos objetos, número de máquinas, quantidade de tipos de produtos e demanda (baixa, média e alta). Somente padrões de corte bidimensionais, guilhotinados, 2-estágios, exatos e irrestritos foram considerados, os quais foram obtidos pelo método das faixas [1]. O problema mestre restrito inicial foi composto por somente padrões de corte homogêneos. A codificação da heurística e do gerador de exemplares foi feita em linguagem C. Os subproblemas para determinar os padrões de corte, os problemas mestre restritos e os problemas inteiros (segunda etapa da heurística) foram resolvidos com auxílio do CPLEX (versão 22.1.0). O computador utilizado possui um processador Intel Core i7 10700, 16 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 11. Os resultados foram analisados ao variar os custos de produção e preparação e a capacidade de máquina e comparados em relação ao tempo de resolução, número total de iterações e valor da função objetivo.

De acordo com os resultados obtidos pode-se afirmar que o modelo proposto é adequado para representar o problema objeto do estudo. Em todos os testes o número médio de iterações e o tempo médio de resolução aumentou à medida que as dimensões e complexidade dos exemplares aumentaram. A perda proporcional de material variou entre as classes, sendo relativamente baixa, com uma média de 0,49% no pior caso e 0,02% no melhor caso. O maior número de novas colunas geradas e inseridas no modelo até o critério de parada foi em torno de 500. Comparando as soluções contínuas e inteiras, o tempo médio de resolução foi bem menor para a solução contínua, em torno de 0,02s enquanto que para as soluções inteiras foi 1361s. Os gaps de otimização encontrados entre as soluções contínuas e inteiras foram pequenos, sendo no pior caso 1,78%.

Por fim, os testes computacionais demonstraram a viabilidade da modelagem matemática desenvolvida para aplicação em cenários reais, contribuindo para a redução de custos, perdas de material e aprimoramento do planejamento operacional. A heurística de solução mostrou-se promissora e será aperfeiçoada em trabalhos futuros para que problemas de dimensões maiores e mais complexos possam ser resolvidos de forma mais eficiente. Além disso, outras técnicas de geração de padrões de corte bidimensional de diferentes tipos serão consideradas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte do CNPq (processo 309925/2021-5) e da FAPESP (processos 2013/07375-0, 2022/05803-3 e 2020/09838-0).

## Referências

- [1] P. C. Gilmore e R. E. Gomory. “Multistage cutting stock problems of two and more dimensions”. Em: **Operations Research** 13 (1965), pp. 94–120. DOI: 10.1287/opre.13.1.94.