

# Busca Tabu para o *Layout* de Sistemas de Manufatura Celular de Múltiplos Níveis em Ambientes Dinâmicos

Luis F. R. Jimenez<sup>1</sup> Carlos J. M. Quiroga<sup>2</sup>

FEEC/UNICAMP, Campinas, SP

Washington A. Oliveira<sup>3</sup>

FCA/UNICAMP, Limeira, SP

Diferentes sistemas de manufatura celular (SMC) têm sido adotados para aumentar a eficiência produtiva, proporcionando maior flexibilidade e reduzindo custos operacionais [1]. A manufatura celular baseia-se na organização de produtos semelhantes em células produtivas, na tecnologia de grupo para otimizar processos e minimizar movimentações desnecessárias [4]. Atualmente, a disponibilidade de espaço horizontal adequado para a construção de fábricas em áreas urbanas é cada vez mais limitada e onerosa. Assim, surge o desafio de expandir as instalações para plantas industriais distribuídas em múltiplos andares, nas quais os processos produtivos são distribuídos em diferentes níveis interligados por elevadores. A Figura 1 ilustra um típico modelo de construção vertical para um SMC com três níveis distintos. Note que cada andar contém uma quantidade específica de locais disponíveis para a alocação planejada de máquinas. Uma célula de manufatura é formada por um conjunto de locais e máquinas. Além disso, existe fluxo de pessoas e produtos em cada nível e entre níveis, mas o fluxo vertical é realizado exclusivamente por meio de elevadores.

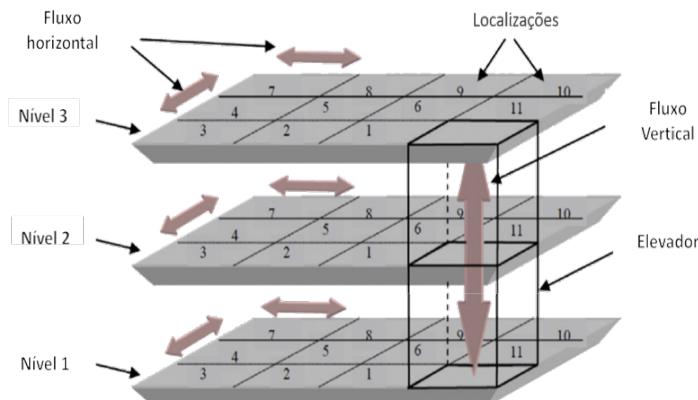


Figura 1: *Layout* em múltiplos níveis. Fonte: [2].

Este estudo considera o problema do *layout* de sistemas de manufatura celular de múltiplos níveis em ambientes dinâmicos, consistindo em uma fábrica verticalmente distribuída em múltiplos níveis com máquinas alocadas em células ou armazenadas em um depósito quando não estão em uso. A configuração celular é flexível, podendo sofrer alterações no *layout* periodicamente ao longo do horizonte de planejamento. As máquinas processam produtos respeitando uma sequência de operações pré-definida. Capacidade das máquinas, disponibilidade de recursos e balanceamento de estoque são exemplos de restrições do problema. O custo de movimentação de materiais depende da distância percorrida e do sentido do fluxo. Em geral, deslocamentos entre níveis são mais caros

<sup>1</sup>l229779@dac.unicamp.br

<sup>2</sup>c204200@dac.unicamp.br

<sup>3</sup>waoliv@unicamp.br

do que aqueles no mesmo nível. O problema envolve decisões integradas de composição de locais para a formação de células, alocação de máquinas, sequenciamento de operações e definição do *layout* global multicelular ao longo do horizonte de planejamento. O objetivo de minimizar o custo total de produção, incluindo movimentações, realocações e utilização de recursos.

O problema é classificado como NP-difícil devido à sua natureza combinatória de configuração e reconfiguração periódica das células. Então, apenas instâncias dimensionalmente pequenas são resolvidas por meio de modelos de programação inteira mista da literatura [3]. As limitações computacionais para instâncias dimensionalmente maiores são superadas neste trabalho por meio da rotina *Busca Tabu* descrita abaixo. A resolução de 56 instâncias sintéticas, diferenciadas com base nos parâmetros descritos em [3] e classificadas em pequenas, médias e grandes, validou o método proposto. A estratégia utilizada permitiu encontrar soluções factíveis em tempo computacional reduzido. Técnicas híbridas, envolvendo heurísticas e o uso de *solvers*, podem ser exploradas em trabalhos futuros com o objetivo de aprimorar ainda mais a qualidade das soluções do problema.

---

#### **Rotina: Método da Busca Tabu**

**Entrada:** Instâncias; critérios de parada ( $CP_1$ ,  $CP_2$ ,  $CP_3$ ); listas Tabu de operações e de movimentos vazias; e  $A = \infty$ .

**Saída:** Solução factível final

**Passo 1.** Construir uma solução inicial factível  $S_0$  que não pertença à lista Tabu de operações, as listas LCl e LCc não são ordenadas e as listas RLCl e RLCC são eliminadas; e os sorteios para construir a solução são realizados diretamente nas listas não ordenadas LCl e LCc. Se  $f(S_0) < A$ , então  $A \leftarrow f(S_0)$ . Atualizar a lista Tabu de operações e selecionar um período aleatoriamente.

**Passo 2.** Enquanto  $n_3 \leq CP_3$ , selecionar um local  $l_f$  não vazio. Para cada outro local não vazio, testar a troca de máquinas entre esses dois locais e verificar o impacto na solução atual  $S$  em relação ao valor da função objetivo. Salvar essas trocas de forma ordenada em relação a este impacto como uma nova lista de candidatos. Tornar a lista Tabu de movimentos vazia e selecionar o primeiro movimento desta lista de candidatos.

**Passo 3.** Se  $n_2 \leq CP_2$ , selecionar aleatoriamente um novo período,  $n_2 \leftarrow n_2 + 1$ , ir para **Passo 2**.

**Passo 4.** Se  $f(S_0) < A$ , então  $A \leftarrow f(S_0)$  e  $S_f \leftarrow S_0$ . Se  $n_1 \leq CP_1$ , ir para o **Passo 1**. Caso contrário, a solução factível final é  $S_f$ .

---

## Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte do CNPq (processos 309925/2021-5 e 167045/2022-9) e da FAPESP (processos 2022/05803-3 e 2020/09838-0).

## Referências

- [1] S. Ahkioon, A. Bulgak e T. Bektas. “Integrated cellular manufacturing systems design with production planning and dynamic system reconfiguration”. Em: **European journal of operational research** 192.2 (2009), pp. 414–428.
- [2] F. Khaksar-Haghani, R. Kia, I. Mahdavi e M. Kazemi. “A genetic algorithm for solving a multi-floor layout design model of a cellular manufacturing system with alternative process routings and flexible configuration”. Em: **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** 66.5-8 (2013), pp. 845–865.
- [3] R. Kia, F. Khaksar-Haghani, N. Javadian e R. Tavakkoli-Moghaddam. “Solving a multi-floor layout design model of a dynamic cellular manufacturing system by an efficient genetic algorithm”. Em: **Journal of Manufacturing Systems** 33.1 (2014), pp. 218–232.
- [4] C. Weckenborg, P. Schumacher, C. Thies e T. Spengler. “Flexibility in manufacturing system design: A review of recent approaches from Operations Research”. Em: **European journal of operational research** 315.2 (2024), pp. 413–441.