

# REVENIMENTO PARALELO APLICADO AO SEQUENCIAMENTO EM MÁQUINAS FLEXÍVEIS PARALELAS COM RECURSOS COMPARTILHADOS

André Luís Barroso Almeida<sup>1 2</sup>

Joubert de Castro Lima<sup>1</sup>

Marco Antonio Moreira de Carvalho<sup>1</sup>

Universidade Federal de Ouro Preto<sup>1</sup>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Ouro Preto<sup>2</sup>

LVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)

Nov 04-07, 2024



UFOP



INSTITUTO  
FEDERAL  
Minas Gerais

# Introdução

## Sistema de manufatura flexível

Um sistema de manufatura flexível (*flexible manufacturing system*, FMS) é caracterizado pela utilização de máquinas de comando numérico e um sistema automatizado de fluxo de matéria prima.

## Problema de sequenciamento de máquinas paralelas com limitações de recursos (RCPMS)

O RCPMS é um problema prático recorrente neste tipo de sistema produtivo e consiste em:

- 1 Determinar a alocação e o sequenciamento das tarefas;
- 2 Minimizar o o tempo de término de processamento (*makespan*) da última máquina no sistema.

# Introdução

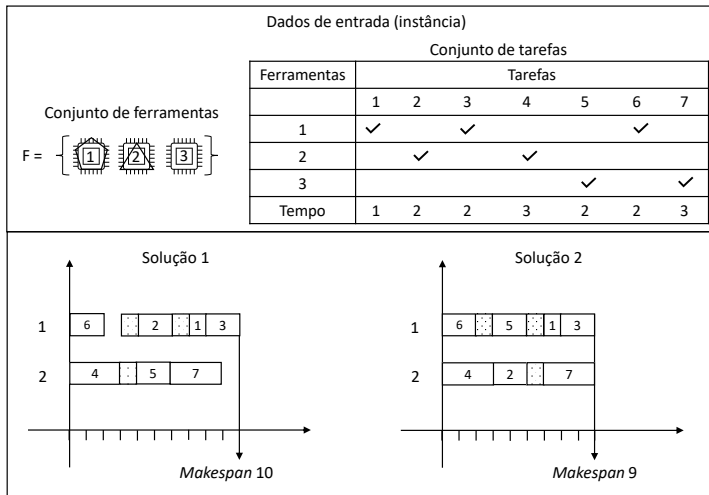


Figure: Exemplo de execução do RCPMS.

# Revisão da literatura

- 1 Embora o RCPMS seja um importante problema prático, poucos estudos a seu respeito são encontrados na literatura;
- 2 Os estudos relacionados ao RCPMS tiveram início na década 70, com o estudo de Garey e Graham[1975];
- 3 Somente no início do século 21 o problema foi abordado como apresentado no estudo de caso de Hong et al. [2009];
- 4 Zhao et al. [2018] propuseram um modelo matemático e uma heurística para solucionar o RCPMS em uma indústria de microeletrônica;
- 5 Recentemente, Soares e Carvalho [2022] propuseram uma solução baseada no BRKGA hibridizado com quatro buscas locais organizadas em uma descida em vizinhança variável.

# Revenimento paralelo

## Introdução

- 1 O PT mimetiza o processo físico de revenimento;
- 2 Vastamente utilizado em simulações nas áreas de físico-química; e biologia;
- 3 O PT, por definição, é um método baseado no Markov Chain Monte Carlo (MCMC);
- 4 Explora distribuições de probabilidade com várias dimensões.

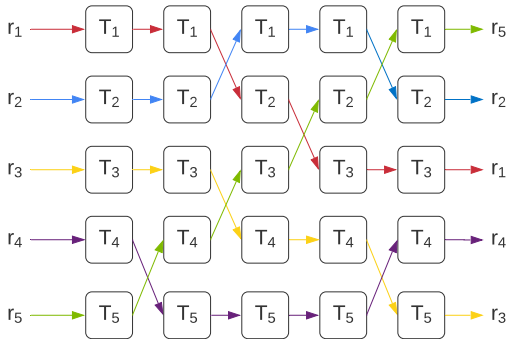
# Revenimento paralelo

## Introdução

- 1 O PT consiste na coordenação da constante  $T$ , conhecida como temperatura na distribuição de *Boltzmann*;
- 2 No algoritmo PT, réplicas ou cópias do sistema ( $R = r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ ) são simuladas em diferentes temperaturas, ou seja, diferentes valores de  $T$ ;
- 3 Cada réplica, a uma temperatura fixa, simula o sistema em uma quantidade predefinida de passos;
- 4 Após o processo anterior, uma troca de réplicas entre temperaturas adjacentes é proposta.

## Revenimiento paralelo

## Princípio de funcionamento



**Figure:** Exemplo de funcionamento do Revenimento paralelo.

# Revenimento paralelo

## Implementação paralela para CPU

- 1 *Coarse-grained*;
- 2 Utiliza o modelo de programação paralela *dataflow*;
- 3 Cada nó, cujas dependências tenham sido atendidas, é adicionado a uma fila que controla o fluxo de execução (*ThreadPool*);
- 4 Segundo a taxonomia de Crainic e Hail [2005], do tipo *p-control* (pC);



# Revenimento paralelo

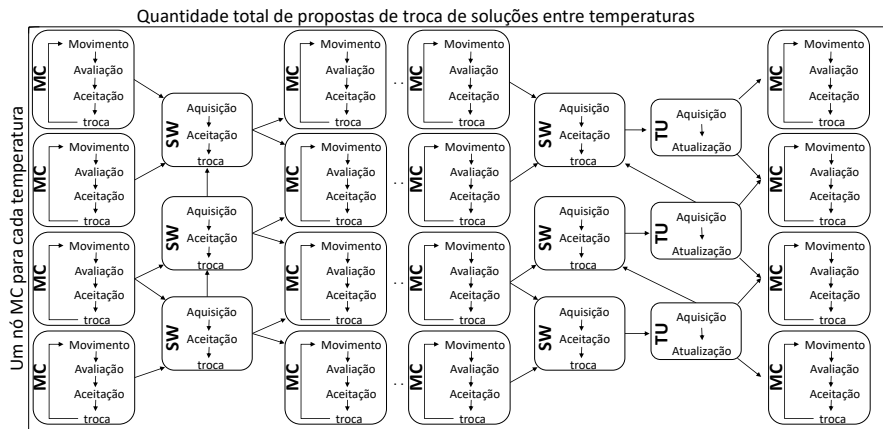


Figure: Modelo paralelo proposto.

# Codificação

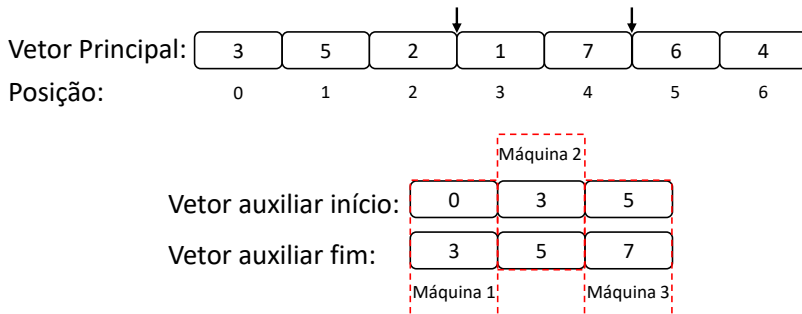


Figure: Codificação da solução.

# Decodificação

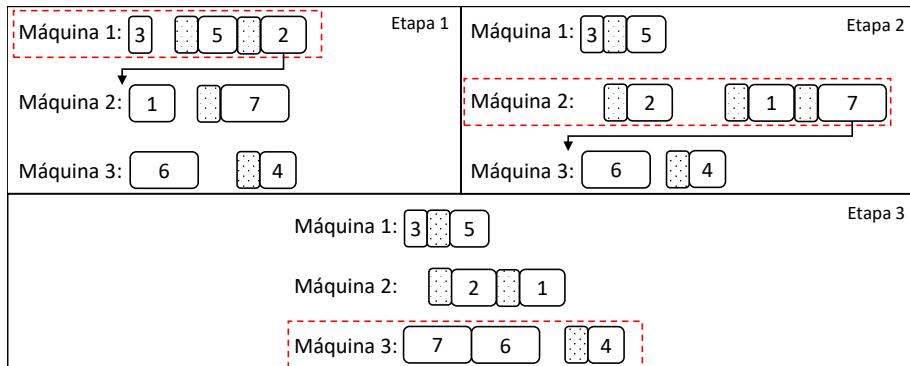


Figure: Exemplo do passo um da decodificação.

# Decodificação

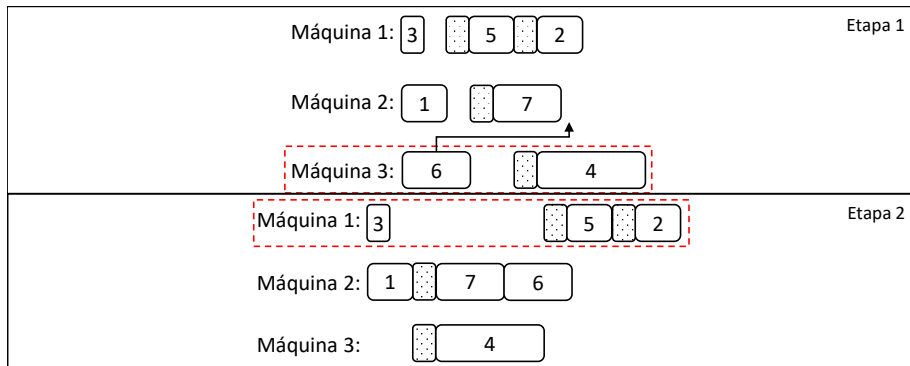


Figure: Exemplo do passo dois da decodificação.

# Experimentos

## Visão Geral

- 1 Foram utilizadas 270 instâncias desenvolvidas por Soares e Carvalho [2022];
- 2 O PT foi comparado com o BRKGA hibridizado com procedimentos de busca local, o algoritmo considerado o estado da arte para resolver o RCPMS proposto por Soares e Carvalho [2022].

# Experimentos

## Resultados

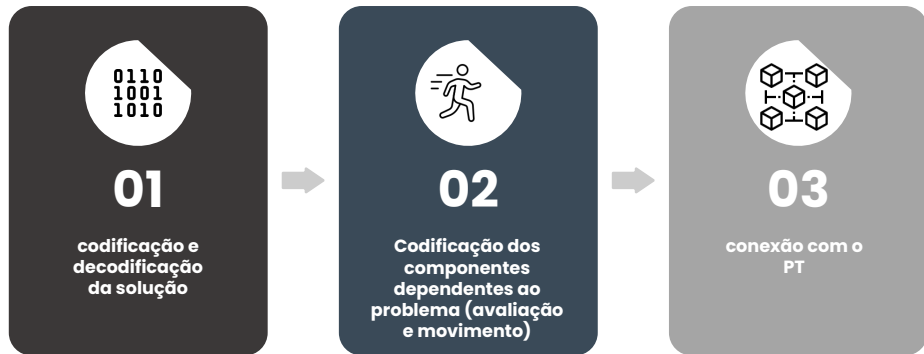
- 1 O PT igualou ou superou o BRKGA em relação às instâncias contidas no grupo RCPMS-I, com 4 novas melhores soluções;
- 2 Para o conjunto de instâncias RCPMS-II, o PT obteve resultados iguais ou superiores ao BRKGA variando o gap entre -0,05% e -43,13%;
- 3 Ao avaliar a média das 10 execuções, o PT foi melhor que o BRKGA em todos os 36 conjuntos de instâncias do RCPMS-II;
- 4 Em relação ao tempo computacional, o BRKGA obteve menores valores em 27 dos 36 conjuntos de instâncias.

# Experimentos

## Resultados

- 1 Testes estatísticos confirmaram a superioridade do PT;
- 2 Em nenhuma das 180 instâncias o PT obteve valores piores que o BRKGA para o conjunto RCPMS-II;
- 3 O PT determinou 144 novas melhores soluções;

## API



**Figure:** Passos para utilizar a API. Link: <https://github.com/ALBA-CODES/PTAPI/>



## Estratégias de definição das temperaturas

### 1 Distribuição inicial das temperaturas

- 1 Linear;
- 2 Linear-inverso;
- 3 Progressão geométrica;
- 4 Exponencial.

### 2 Estratégia dinâmicas de atualização das temperaturas

- 1 Igualar as taxas de troca das temperaturas adjacentes;
- 2 Igualar a taxa de troca a 23%;
- 3 Feedback-optimized.

# Conclusão

- 1 Abordou-se neste estudo a aplicação do revenimento paralelo (ou *parallel tempering*, PT) para resolver o problema de sequenciamento de tarefas em máquinas flexíveis paralelas com compartilhamento de recursos (RCPMS);
- 2 Os resultados apresentados representam um avanço significativo no estado da arte, estabelecendo novos melhores resultados para 82,22% das instâncias avaliadas;
- 3 Os resultados indicam um desempenho notável do PT para diferentes problemas de sequenciamento de tarefas em máquinas flexíveis.

- Garey, M. R. e Graham, R. L. (1975). Bounds for multiprocessor scheduling with resource constraints. *SIAM Journal on Computing*, 4(2):187–200.
- Hong, T.-P., Jou, S.-S., e Sun, P.-C. (2009). Finding the nearly optimal makespan on identical machines with mold constraints based on genetic algorithms. In *WSEAS International Conference. Proceedings. Mathematics and Computers in Science and Engineering*, Hangzhou, China. World Scientific and Engineering Academy and Society.
- Soares, L. C. e Carvalho, M. A. (2022). Application of a hybrid evolutionary algorithm to resource-constrained parallel machine scheduling with setup times. *Computers & Operations Research*, 139:105637.
- Zhao, H. D., Gao, J., e Zhu, F. (2018). Scheduling on parallel machines with mold constraints. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 389(1):012005.

# Obrigado!

E-mail: [andlui.eng@gmail.com](mailto:andlui.eng@gmail.com)