

## **Recozimento Simulado Paralelo na Alocação de Navios a Berços em Portos Graneleiros com Restrições de Nível de Estoque e Condições Favoráveis de Marés**

**Tarcísio Souza Costa<sup>1</sup>, Victor Hugo Barros<sup>1</sup>, Alexandre César Muniz de Oliveira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão (UFMA)  
CEP 65085-580 – São Luís – MA – Brasil

{priestcp,victorhugobb}@gmail.com, acmo@deinf.ufma.br

### **1. Introdução**

Neste trabalho, consideramos o problema de alocação de navios a berços em portos graneleiros com restrições de nível de estoque e condições favoráveis de marés (PABGEM). Esta investigação é motivada pelo cenário operacional que ocorre no complexo portuário marítimo do parque industrial de São Luís, formado pelo Porto do Itaqui e terminais privados da Ponta da Madeira (administrado pela Companhia Vale do Rio Doce - CVRD) e da Alumar (Consórcio de Alumínio do Maranhão), responsáveis, em conjunto, pela segunda maior movimentação de granel do Brasil.

A tarefa de alocação de navios a berços considera restrições de marés, restrições de nível de estoque e a prioridade relativa dos navios, esta última entra como fator custo de operação do porto, representada especificamente por taxas de *demurrage* associadas a atrasos na liberação de navios e equipamentos. Em portos graneleiros, deve haver um controle do nível de estoque dos granéis a serem carregados ou descarregados. Uma atracação não deve ocorrer se o estoque do granel em questão não for suficiente para carregar o navio ou, por outro lado, a atracação deve ser antecipada quando houver riscos de colapso na produção industrial por falta de matérias primas.

O objetivo deste trabalho é apresentar um algoritmo de otimização baseado em Recozimento Simulado (*Simulated Annealing*) [Kirkpatrick et al. (1983)], paralelizado via Biblioteca para Passagem de Mensagens (*Message Passing Interface - MPI*) [Pacheco (1996)], aplicado na minimização dos custos referentes a operações portuárias em um horizonte de planejamento, considerando as janelas de marés e os níveis de estoque mínimos. A paralelização do algoritmo é motivada pela perspectiva de se trabalhar com instâncias reais desse problema que demandam grande poder de processamento e pela possibilidade de se ampliar a eficiência do algoritmo através de um esquema colaborativo de busca.

### **2. Resultados Computacionais**

Neste trabalho, são usadas instâncias de teste considerando os seguintes dados: número de navios, número de marés favoráveis, número de berços, tempo de chegada do navio, tempo de operação do navio, tempo contratual permitido, *demurrage* por unidade de tempo, estoque inicial do granel, capacidade de carga do navio com relação a cada granel, consumo ou produção do granel. O modelo matemático está sendo omitido aqui por questões de espaço.

O Recozimento Simulado gera uma solução candidata aleatória, avalia essa solução e inicia o processo iterativo de busca por soluções melhores. A cada iteração uma nova solução é gerada com base na anterior e avaliada como requisito para a sua aceitação ou não na próxima iteração. O critério de aceitação característico do recozimento simulado é aceitar

sempre que uma solução for melhorada e pode ou não aceitar soluções piores dependendo do quão pior ela é e o nível atual de temperatura no sistema (critério de Boltzmann). A temperatura do sistema é ajustada inicialmente e, em geral, decai deterministicamente. O arrefecimento torna o sistema mais seletivo.

O algoritmo paralelo instancia um recozimento simulado por processador. A cada número específico de iterações, um dado processo envia a melhor solução encontrada até então ao processo vizinho sucessor, considerando uma topologia do tipo anel unidirecional.

Antes de enviar, porém, ele verifica se há uma solução melhor que a sua chegando de seu vizinho antecessor. Assim, cada processo repassa ao sucessor a melhor solução encontrada até o momento, considerando a sua especificamente e a enviada por seu antecessor. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Resultados computacionais obtidos pelo Recozimento Simulado.**

Instância (navios)	Ótimo conhecido	Ótimo encontrado	Tempo médio sequencial - 5 tentativas - (segundos)	Tempo médio paralelo - 5 tentativas - (segundos)		
				Número de processadores		
				3	4	5
10	797	797	0,624	0,088	0,112	0,104
15	3162	3162	1,528	0,100	0,123	0,109

O critério de parada utilizado foi o sucesso na busca, previamente encontrado através de ferramentas de programação linear. A probabilidade de sucesso aumenta com o número de processos executando em paralelo. Isso pode explicar o *speedup superlinear* encontrado em relação à versão sequencial (*speedups* superiores a 5,57 e 5,07 para 4 processadores) nas duas instâncias testadas. Observa-se que, em virtude dos tempos de execução muito baixos, pequenas oscilações de tempo geram grandes diferenças em termos de *speedup*.

No estágio atual deste trabalho, as instâncias geradas ainda não correspondem a um cenário real para o problema. Num horizonte de planejamento de dois meses, por exemplo, podem-se obter instâncias com 50 navios o que vem a ser um fator motivador a mais para a paralelização do algoritmo.

### 3. Conclusão

Os resultados apontam o potencial da abordagem apresentada, onde as soluções ótimas conhecidas foram encontradas em tempos de processamento expressivamente baixos. A continuação deste trabalho será voltada para o tratamento de instâncias maiores, e implementação de novas metaheurísticas paralelas.

### 4. Referências

Kirkpatrick, S.; Gellat, D. C.; Vecchi, M. P. Optimization by simulated annealing. Science, 220, 671-680, 1983

Pacheco, S.; Peter; Parallel Programming with MPI. 1996

**Agradecimentos:** Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisas – CNPq (processo 479762/20066) e à ALUMAR pelo apoio financeiro parcial dado ao desenvolvimento deste trabalho.