

RESOLUÇÃO DO PROBLEMA CONJUNTO DE CARREGAMENTO DE CONTÊINERES EM NAVIOS 3D E PROGRAMAÇÃO DE GUINDASTES PORTUÁRIOS VIA REPRESENTAÇÃO POR REGRAS E ALGORITMO GENÉTICO

Anibal Tavares de Azevedo

UNICAMP

anibal.azevedo@fca.unicamp.br

Luiz Leduino de Salles Neto

UNIFESP

luiz.leduino@unifesp.br

Antônio Augusto Chaves

UNIFESP

antonio.chaves@unifesp.br

Antônio Carlos Moretti

UNIFESP

antonio.moretti@fca.unicamp.br

RESUMO

A eficiência de um terminal portuário depende um planejamento apropriado da movimentação de contêineres, também chamado de plano de estiva. A partir do plano de estiva é possível estimar o tempo, e assim também o custo, para realizar os processos de carregamento e descarregamento de contêineres de um navio. Para tanto, este artigo propõe uma abordagem para resolver o problema de planejamento de estiva 3D integrado ao problema de programação ou *scheduling* de guindastes portuários. Ambos os problemas são NP-Hard e demanda grande número de variáveis binárias para representar uma solução em uma formulação inteira. A alternativa empregada neste trabalho é a aplicação sucessiva da representação por regras para o problema de estiva e o programação de guindastes portuários com um algoritmo genético. Soluções para problemas de grande porte que demandam aproximadamente 40 milhões de variáveis binárias, só para o plano de estiva, são obtidas em menos de 15 minutos.

PALAVRAS-CHAVE: Plano de estiva, Programação de Guindastes Portuários, Representação por Regras, Algoritmo Genético.

1. Introdução

De acordo com (Guan et al. 2013; Steenken et al. 2004), as operações em um terminal portuário de contêineres podem ser divididas em cinco problemas principais:

- (1) Alocação de berços: a saída deste problema é a programação de qual navio será atendido em qual berço de modo que uma distância mínima de segurança seja respeitada entre dois navios, e dois navios não podem compartilhar o mesmo berço no mesmo período de tempo;
- (2) Plano de estiva: este problema consiste em determinar como organizar os

contêineres em um navio de modo a minimizar o número de movimentos de carregamento e descarregamento;

- (3) Designação de Guindastes no Cais: o tempo que o navio porta-contêiner leva para carregar ou descarregar depende da programação de guindastes portuários alocados para cada seção do navio. Os guindastes não podem ultrassapar uns aos outros por terem seus movimentos limitados a um trilho comum. Além disso, uma distância de segurança entre eles também deve ser observada;
- (4) Transporte do Cais: é necessário determinar que máquinas serão empregadas e quais serão suas trajetórias ligando o navio ao pátio do porto e vice-versa;
- (5) Transporte do Pátio: A organização de pilhas no pátio do porto depende de como realizar operações eficientes para empilhar e desempilhar os contêineres que são trazidos ou levados por caminhões e trens.

Este trabalho irá abordar a resolução conjunta dos problemas (2) e (3). Para a resolução do problema (2) é necessário definir um plano de estiva que é fortemente relacionado com a estrutura especial do navio porta-contêiner como dado na Figura 1.

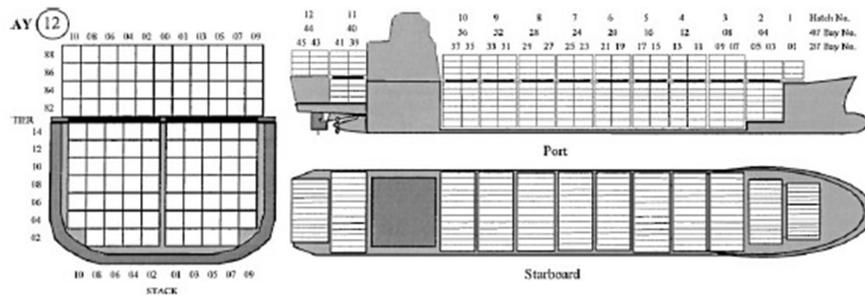


Fig. 1: Estrutura de um navio porta-contêiner (Source: Wilson and Roach 2000).

A partir do plano de estiva, é possível necessária programação de guindastes portuários tal como dado na Figura 2.

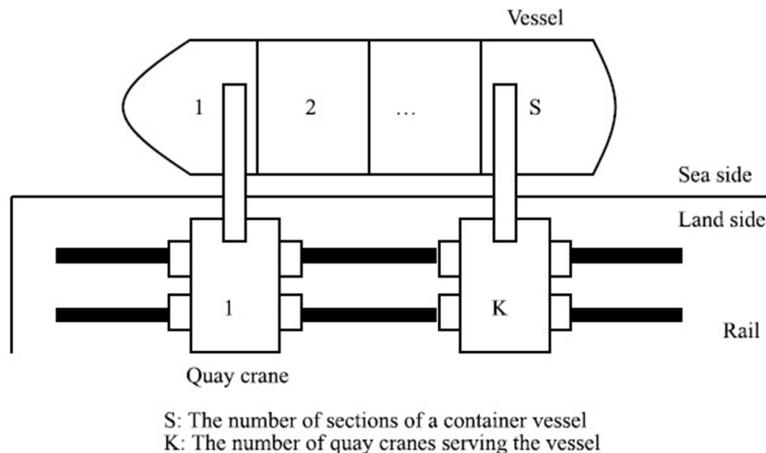


Fig. 2: Problema de programação de guindastes portuários (Source: Lee et al. 2008).

2. Descrição do problema

O mesmo modelo adotado para o plano de estiva em (Azevedo et al. 2012) será empregado neste artigo de modo que apenas a descrição do que as restrições representam será apresentada aqui. As seguintes considerações foram adotadas:

(a) O navio porta-contêiner possui um formato rectangular e pode ser representado por uma matriz com linhas ($r = 1, 2, \dots, R$), colunas ($c = 1, 2, \dots, C$) e baias ($d = 1, 2, \dots, D$) totalizando uma capacidade máxima de $R \times C \times D$ contêineres;

(b) Todos os contêineres possui o mesmo peso e tamanho;

(c) Todos os navios começam a ser carregados no porto 1 e sem nenhuma carga inicial;

(d) O navio visita os portos 2, 3, ..., N tal que o navio estará vazio no ultimo porto, pois é considerado que o mesmo realiza uma rota circular onde o porto N, na verdade, representa o porto 1;

(e) Em cada porto $i = 1, 2, \dots, N$, o navio deve ser carregado com contêineres cujo destino são portos $i+1, \dots, N$.

(f) O navio porta-contêineres pode sempre carregar todos os contêineres disponíveis em cada porto e isto não irá exceder sua capacidade máxima.

Para a programação dos guindastes portuários o modelo descrito em (Lee et al. 2008) foi adotado e as seguintes considerações foram consideradas sob a forma de restrições e função objetivo:

(a) Ao invés de se considerar o navio dividido em seções como em (Lee et al. 2008), foi considerada cada baia do navio. Dessa forma, é possível transformar a informação de movimentação de contêineres fornecida pelo plano de estiva sob a forma do total de esforço necessário por baia;

(b) Foi assumido que o esforço total equivale ao número de contêineres que devem ser movidos e que cada container demanda uma unidade de tempo para ser carregado ou descarregado;

(c) Cada baia no navio só pode ter um único guindastes em um dado período de tempo;

(d) Uma vez que um guindaste começou o serviço (carregamento ou descarregamento) em uma baia, o mesmo só irá parar quando não houver mais serviço para realizar;

(e) Quando um guindaste troca sua operação de uma baia para outra, ele leva um tempo constante e igual a três unidades de tempo para mover um contêiner;

(f) Uma distância mínima entre os guindastes deve ser observada. Isto significa que, às vezes, um guindaste não pode ser movido e não pode começar o seu serviço até que um segundo guindaste termine o seu trabalho e mova-se para uma nova posição que garanta a distância mínima entre os guindastes;

(g) Um guindaste não deve ultrapassar outro, pois eles compartilham o mesmo trilho;

(h) Todos os guindastes possuem a mesma e constant taxa de serviço de movimentação de uma unidade de trabalho por unidade de tempo.

Os dois modelos descritos anteriormente podem ser acoplados ao se observar que o número de movimentos por baia pode ser transformado no esforço total por baia como dado na Fig. 3.

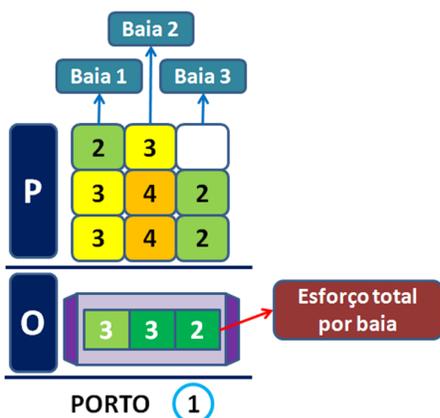


Fig. 3: Acoplado o plano de estiva (P) com a operação de guindastes (O).

3. Métodos e abordagens

Ao invés de empregar um modelo com variáveis binárias, será empregada a resolução dos dois problemas através da representação por regras. As regras para carregamento e descarregamento de navios descritas em (Azevedo et al. 2012) foram combinadas com quatro regras de operações de guindastes. A Fig. 4 ilustra o passo-a-passo do funcionamento de uma das regras de operação de dois guindastes portuários.

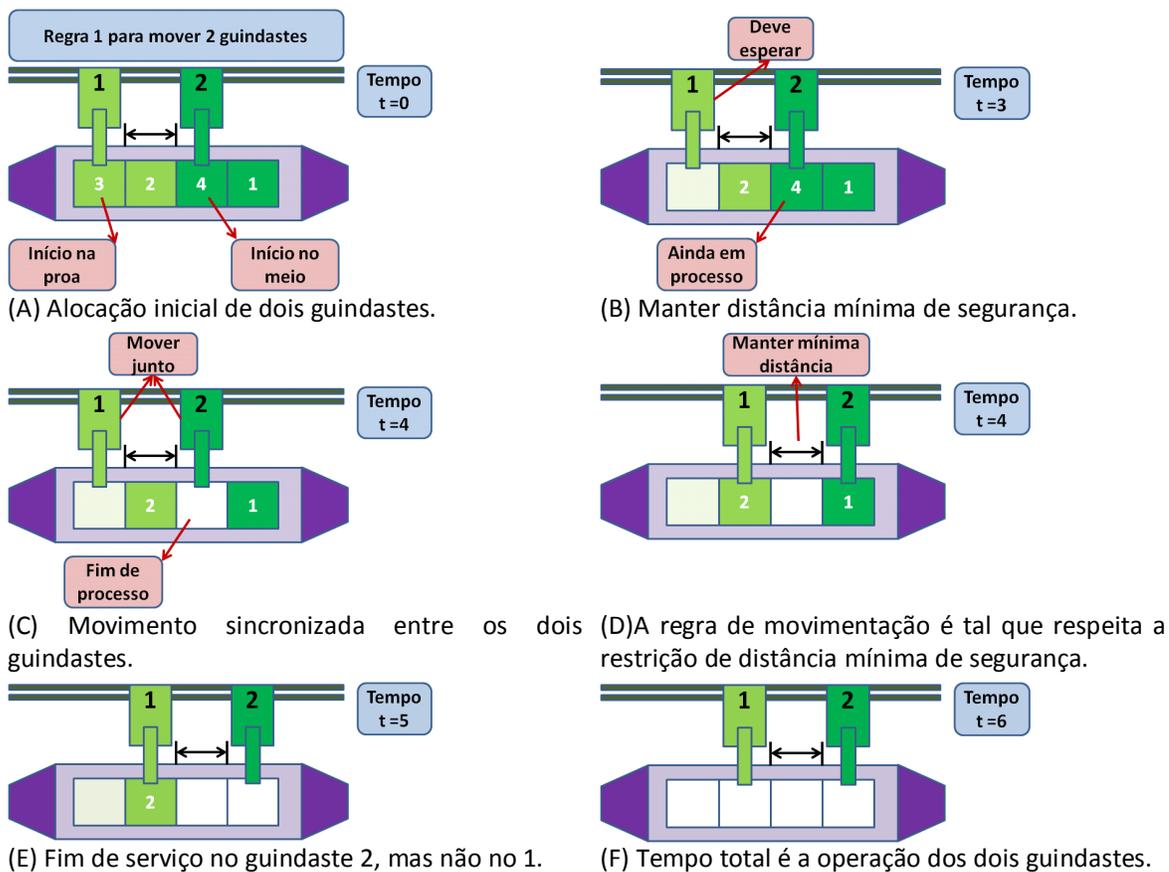


Fig. 4: Descrição detalhada do funcionamento da regra 1 de operação de dois guindastes portuários.

4. Resultados

Foram obtidos resultados para instância com até cerca de 44 milhões de restrições e 42 milhões de variáveis binárias utilizando um programa criado em Matlab 7.0, e uma máquina com um processador 1.66 GHz Core Duo Intel Processor, memória RAM memory de 2 GB e sistema operacional Windows Vista Operational System com Service Pack 2. Duas funções objetivos foram testadas: uma que busca minimizar o tempo total de operação (Fig. 5(A) e (B)) e outra que busca minimizar a instabilidade do arranjo dos contêineres no navio (Fig. 5(C) e (D)). Parte das melhores soluções obtidas são mostradas na Fig. 5.

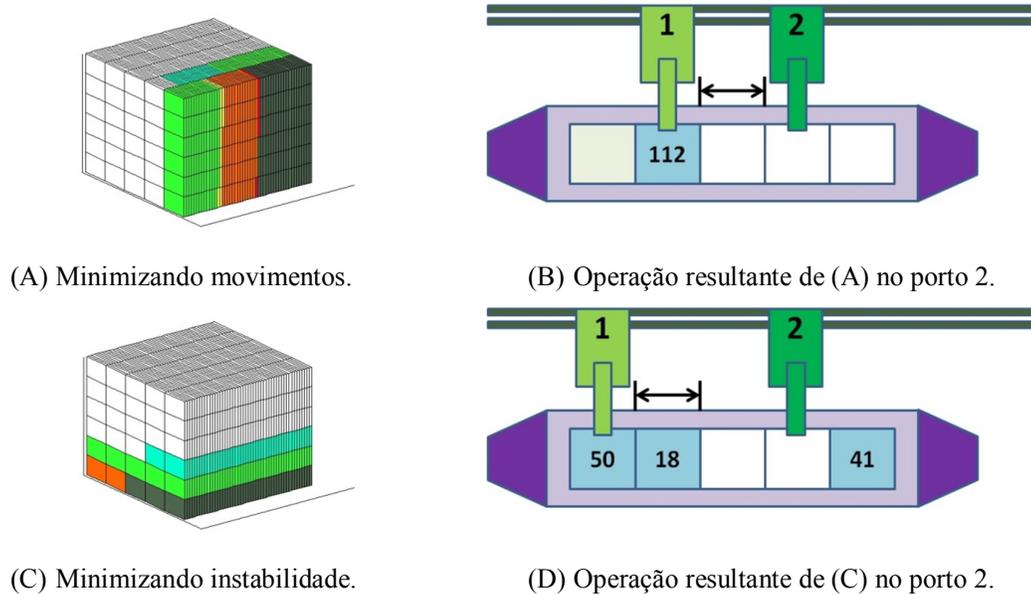


Fig. 5: Comparação de duas soluções em termos plano de estiva e operação de guindastes.

5. Conclusões e perspectivas futuras

Neste trabalho a representação por regras foi estendida para resolver o problema conjunto de plano de estiva e programação de guindastes em um terminal portuário de contêineres. A metodologia proposta conseguiu obter soluções para problemas com cerca de 44 milhões de restrições e 42 milhões de restrições em menos de 15 minutos. Uma perspectiva futura é ampliar a utilização da representação por regras de modo a incluir outras operações portuárias tais como a movimentação de contêineres no pátio do porto.

Referências

- Azevedo, A., Ribeiro, C., Sena, G., Chaves, A., Salles, L., Moretti, A. (2012). Solving the 3D Container Ship Loading Planning Problem by Representation by Rules and Beam Search, in ICORES'12, pp. 132-141.
- Guan, Y., Yang, K-H., Zhou, Z. (2013). The Crane Scheduling: models and solution approaches”, Annals of Operations Research 203, p. 119-139.
- Lee, D., Wang, D., Miao, L. (2008). Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals, Transportation Research E 44, pp. 124-135.
- Steenken, D., Voss, S., Stahlbock, R. (2004). Container terminal operation and operations research - a classification and literature review, OR Spectrum 26 (1), pp. 3-49.
- Wilson, I., Roach, P. (2000). Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions, Journal of the Operational Research Society 51, pp. 1248-1255.