

PROGRAMAÇÃO DE ROTAS DE NAVIOS DE PETRÓLEO CRU DA PETROBRAS NO LITORAL BRASILEIRO

Amélia Stanzani

Universidade Federal de São Carlos
mel.stanzani@hotmail.com

Bruno Jensen Virginio da Silva

Universidade Federal de São Carlos
brunojen@gmail.com

Denise Sato Yamashita

Universidade Federal de São Carlos
dsyamashita@gmail.com

Maria Gabriela Furtado

Universidade Federal de São Carlos
gabisfurtado@gmail.com

Vinícius P. Rodrigues

Universidade Federal de São Carlos
viniciuspr88@gmail.com

RESUMO

Este estudo aborda o problema de roteamento de navios petroleiros da Petrobras que transportam petróleo entre as plataformas de produção no oceano e terminais de entrega no litoral brasileiro. O petróleo deve ser escoado ao menor custo logístico possível por uma frota heterogênea, respeitando restrições específicas do problema. Neste trabalho, um modelo matemático inteiro misto de roteamento de veículos com coleta e entrega e janelas de tempo é proposto e implementado em GAMS/CPLEX. Os resultados dos experimentos computacionais mostram que o modelo encontra soluções de qualidade para casos reais pequenos.

PALAVRAS-CHAVE: Petróleo, Roteamento de navios, Petrobras

1. Introdução

Este trabalho é parte de um projeto entre a UFSCar (Universidade Federal de São Carlos) e a Petrobras, que tem por objetivo desenvolver métodos e algoritmos para resolver um problema de logística na produção de petróleo no litoral brasileiro.

No Brasil, grande parte do petróleo está no oceano e é produzido em plataformas *offshores*. Navios petroleiros devem coletar esse petróleo e transportá-lo até os terminais localizados na costa brasileira, onde serão redistribuídos ou processados.

As decisões de quais navios devem fazer quais coletas e entregas de petróleo não são triviais e envolvem grandes quantidades de recursos e custos. Com a descoberta de petróleo na região conhecida como pré-sal, essas operações serão mais importantes, complexas e custosas para a Petrobras. Não foi encontrado na literatura trabalhos que se assemelhassem as operações com as mesmas características que a brasileira, nem mesmo em regiões do Mar do Norte na Noruega ou do Golfo do México nos Estados Unidos.

Portanto, é uma operação em que a utilização de métodos e algoritmos customizados

tem grande potencial de melhorar as decisões que são tomadas pelos operadores. Nesse estudo é apresentado o problema real e alguns resultados encontrados para experimentos com dados reais fornecidos pela empresa.

Outros trabalhos em situações de transporte marítimo semelhantes mas com características diferentes podem ser encontradas em Christiansen (1999) e Christiansen et al. (2011) para transporte de amônia e cimento na Europa e Seung (2005) para transporte de derivados de petróleo na Ásia. Christiansen et. al (2004) apresenta uma revisão da literatura bastante completa.

Na seção 2 é feita uma descrição do problema real. Na seção 3 são discutidos os resultados dos experimentos e na seção 4 são apresentadas as perspectivas futuras de desenvolvimento.

2. Descrição do problema

O problema estudado no presente trabalho trata de uma situação real de transporte de petróleo cru extraído do fundo do oceano no Brasil por plataformas e que deve ser transportado para terminais no litoral brasileiro. Nos terminais, esse petróleo pode ser transbordado para outro navio, no caso em que será exportado, ou descarregado no terminal que irá transportá-lo para uma refinaria. O escopo deste trabalho é restrito ao transporte marítimo das plataformas para os terminais. A exportação e o transporte para as refinarias não estão no escopo.

A frota de navios é heterogênea em várias características como capacidade total, velocidade, custo de navegação, calado, comprimento, entre outras. Esta frota é formada por navios próprios da Petrobras e por navios de terceiros que possuem contrato de transporte com a Petrobras.

O horizonte de planejamento é rolante, com duração máxima de 1 mês. Portanto, o planejamento é do tipo operacional. Dentro do horizonte de planejamento, a frota é constante, então, não há decisões de mix de frota.

As plataformas estão espalhadas pelo oceano e são também heterogêneas, produzindo diferentes tipos de petróleo, com taxas de produção, capacidade de estocagem e características de atracação específicas. A quantidade de terminais é menor do que a quantidade de plataformas e todos os terminais estão localizados na costa brasileira. Estes terminais também diferem entre si, demandando conjuntos específicos de produtos, em quantidades diferentes e com várias limitações de tipos de navio que podem receber.

Para atracar em uma plataforma ou terminal, os navios devem respeitar janelas de tempo que são previamente conhecidas em função do limite de capacidade de estoque das plataformas, níveis dos estoques iniciais e taxa média de produção e os planos de produção das refinarias servidas pelos terminais.

As quantidades de petróleo a serem coletadas em cada plataforma e entregues em cada terminal são geradas por um planejamento em nível hierárquico maior e não podem ser modificadas. Portanto, as quantidades e as respectivas origens e destinos dos lotes de produção são previamente conhecidos.

O objetivo do problema consiste em programar os navios e as coletas e entregas de produtos, minimizando os custos de atracação e de deslocamento dos navios.

O problema foi representado por um modelo matemático inteiro misto, baseado na formulação clássica de Ropke e Cordeau (2009) para o problema de coleta e entrega com janelas de tempo. A partir do modelo original de coleta e entrega com janelas de tempo, foram incorporadas outras restrições específicas para o problema da Petrobras como, por exemplo, calado flexível, impossibilidade de atracação e posicionamento dinâmico.

3. Resultados

Foram feitos vários experimentos computacionais para diversos conjuntos de dados reais. Os conjuntos de dados compreendem um horizonte de tempo de 1 mês, e o conjunto completo tem cerca de 120 coletas. Este conjunto completo foi dividido em períodos de planejamento menores, de 16, 22 e 44 pares de coletas e entregas.

Os experimentos foram feitos no GAMS 24.1.1, com CPLEX 12.5.0.1 em uma *workstation* com 2 processadores Intel Xeon E5-2680 2.70GHz e 192 GB de RAM. Nas configurações do CPLEX, foi ativada a opção para utilizar todos os núcleos ao mesmo tempo para processamento.

Os resultados encontrados e os respectivos tempos computacionais são apresentados na tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Resultados dos experimentos			
Tamanho do problema	Valor da Função Objetivo	GAP (%)	CPU (s)
16	2.158,76	0	00:00:22
22	2.686,57	0	01:28:58
44	-	-	05:00:00

Para os experimentos com 22 pares de coletas e entregas, foi possível encontrar e provar a otimalidade da solução. Nos experimentos com 44 pares de coletas e entregas, não foi encontrada nenhuma solução factível dentro do tempo disponibilizado.

No contexto prático, o tempo razoável para aguardar soluções é de até 10 minutos. Pelos resultados dos experimentos, problemas com 16 pares de coletas e entregas atendem esse requisito facilmente, entretanto, o problema com 22 coletas encontrou uma solução de 2.742,8 e GAP de 23,5%.

Essas soluções foram apresentadas aos especialistas da Petrobras e a modelagem foi considerada uma representação satisfatória do contexto prático, capturando todas as restrições e características relevantes do problema. Não foi possível comparar as soluções dos modelos com as praticadas na realidade pois estas não foram fornecidas pela empresa.

4. Conclusões e perspectivas futuras

O modelo proposto para representar o problema real de logística marítima de petróleo, segundo avaliação de especialistas da empresa, consegue representar o problema real de forma razoável. Os resultados dos experimentos mostraram que para horizontes de planejamento que considerem 16 ou 22 pares de coletas e entregas, é possível utilizar o modelo proposto para sugerir decisões, embora nem sempre ótimas.

Para problemas com 44 pares de coletas e entregas ou mais, novas melhorias no modelo devem ser desenvolvidas e testadas. Métodos aproximados como heurísticas e metaheurísticas podem ser utilizados como perspectivas de bons resultados, principalmente para os problemas grandes. Métodos exatos também serão explorados e ao que indica a literatura, pode-se esperar que os resultados sejam satisfatórios para exemplares de tamanho razoável.

Outras perspectivas são explorar formulações diferentes do problema real, inspiradas na literatura de programação da produção e formulações que utilizam outros paradigmas, como tamanho e quantidade de lotes como decisões do modelo.

Referências

- Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., Ronen, D.** (2004). *Handbook in OR & MS*, Vol. 14, Cap. 4, Elsevier.
- Christiansen, M.** (1999). Decomposition of a Combined Inventory and Time Constrained Ship Routing Problem. *Transportation Science*, 33(1), 3-16.
- Christiansen, M., Fagerholt, K., Flatberg, T., Haugen, O., Kloster, O., Lund, E.** (2011). Maritime inventory routing with multiple products: A case study from the cement industry. *European Journal of Operational Research*, 208, 86-94.
- Ropke, S., Cordeau, J.F.** (2009). Branch and cut and price for the pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Science*, 43 (3), 267-286.
- Seung-June, H.** (2005). *Inventory Constrained Maritime Routing and Scheduling for Multi Commodity Liquid Bulk*. Tese de Doutorado. Georgia Institute of Technology, 133.