Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro

Roger Rocha

Petroleum Supply Planning: Models, Reformulations and Algorithms

TESE DE DOUTORADO

DEPARTMENTO DE INFORMÁTICA
Postgraduate program in Informatics

Rio de Janeiro
May 2010

Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro

Roger Rocha

Petroleum Supply Planning: Models, Reformulations and Algorithms

Tese de Doutorado

Thesis presented to the Postgraduate Program in Informatics of the Departmento de Informática, PUC–Rio as partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor em Informática

Advisor: Prof. Marcus Vinicius Soledade Poggi de Aragão

Rio de Janeiro
May 2010

Pontifícia Universidade Católica
do Rio de Janeiro

Roger Rocha

Petroleum Supply Planning: Models, Reformulations and Algorithms

Thesis presented to the Postgraduate Program in Informatics of the Departmento de Informática do Centro Técnico Científico da PUC–Rio, as partial fulfillment of the requirements for the degree of Doutor. Approved by the following commission:

Prof. Marcus Vinicius Soledade Poggi de Aragão
Advisor
Departmento de Informática — PUC–Rio

Prof. Ruy Luiz Milidiú
Departamento de Informática — PUC–Rio

Prof. Silvio Hamacher
Departamento de Engenharia Industrial — PUC–Rio

Prof. Abilio Pereira de Lucena Filho
Departamento de Administração — UFRJ

Prof. Eduardo Uchoa Barboza
Departamento de Engenharia de Produção — UFF

Prof. Marcia Helena Costa Fampa
Departamento de Ciência da Computação — UFRJ

Prof. José Eugenio Leal
Coordinator of the Centro Técnico Científico da PUC–Rio

Rio de Janeiro, May 24, 2010

Roger Rocha

Graduated from the Universidade Federal do Espírito Santo in Mechanical Engineering. He did part of his undergraduate studies at Ècole de Mines de Nancy (France) in the Decision Support and Production System Department. He then specialized at PETROBRAS University in Equipment Engineering - Petroleum Refining and Production Systems. He obtained a Master degree at COPPE-UFRJ in Computer Science and System Engineering. He has been working at PETROBRAS Research and Development Center since 2001 where he develops decision support tools for the business areas.

Bibliographic data

Rocha, Roger

Petroleum Supply Planning: Models, Reformulations and Algorithms / Roger Rocha; advisor: Marcus Vinicius Soledade Poggi de Aragão. — 2010.

124 f: il.; 29,7 cm

1. Tese (Doutorado em Informática - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departmento de Informática, 2010.

Inclui bibliografia.

1. Informática – Teses. 2. Planejamento do Suprimento de Petróleo. 3. Programação Inteira. 4. Algoritmo de Decomposição. 5. Programação Disjuntiva. 6. Reformulações. I. Poggi de Aragão, Marcus V.S.. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departmento de Informática. III. Título.

CDD: 004

To my wife Renata,
my father Jarbas and my mother Helena

Acknowledgments

I would like to express my gratitude to my advisor Professor Marcus Vinicius Soledade Poggi de Aragão for his continuous support, advice and incentive during my research. His invaluable guidance was essential in all the time of research and writing of this thesis.

It is an honor for me having worked with Prof. Ignacio Grossmann at Carnegie Mellon University. My sincere thanks goes to him for accepting me as a visiting student and providing me excellent insights on mathematical modeling and solution techniques. Most of the chapters of this thesis are joint work with him.

I owe my deepest gratitude to PETROBRAS, for giving me the opportunity and time to carry over this research and allowing me to add this achievement to my career. In particular, I am grateful to my manager, Luiz Fernando de Jesus Bernardo, for his motivation, enthusiasm and friendship that always helped me to keep on working during hard times.

I also want to thank all my friends at the Logistic, Distribution and Transportation Department at PETROBRAS Research Center. They kept the ball rolling during the time I was out working for my thesis.

Last, but not least, I would like to show my gratitude to all fellows in my church for the spiritual support, specially during the time I was expatriated.

Resumo

Rocha, Roger; Poggi de Aragão, Marcus V.S.. **Planejamento do Suprimento de Petróleo: Modelos, Reformulações e Algoritmos** . Rio de Janeiro, 2010. 124p. Tese de Doutorado — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A atividade de Planejamento de Suprimento de Petróleo é um elo importante para a integração da Cadeia de Suprimento de Petróleo na PETROBRAS, uma vez que é responsável por refinar as informações do planejamento estratégico a ser implementado no nível operacional. Nesta tese, esse problema é definido e explicado em detalhes e um modelo de programação Inteira Mista é proposto para resolvê-lo. Embora os resolvedores de problemas de programação Inteira Mista tenham evoluído de forma surpreendente na última década, para esta aplicação em particular, com o modelo inicial proposto não é possível obter soluções com qualidade satisfatória em tempo computacional aceitável. Desta forma, a linha de pesquisa desta tese consistiu em investigar, em detalhe, a estrutura deste problema a fim de encontrar reformulações mais adequadas e novos algoritmos para a solução deste problema. O foco principal desta tese é resolver de forma eficiente o problema de planejamento de suprimento de petróleo na PETROBRAS, no entanto, como subprodutos desse esforço são propostos um novo algoritmo de decomposição e reformulações que podem ser aplicados a uma ampla gama de problemas. No que diz respeito à realização do objetivo principal, todos os casos testados foram resolvidos de maneira eficiente através dos desenvolvimentos propostos. O novo algoritmo de decomposição se mostrou o método mais adequado para resolver as instâncias com mais de duas classes de navios operando em cada plataforma. Já para os casos com uma ou duas classes de navios, a formulação denominada *Hull Relaxation*, que tem como base uma estrutura definida neste trabalho como *Cascading Knapsack Inequalities*, é a melhor alternativa de solução. Tendo em vista estas alternativas de soluções, é implementado um algoritmo geral que automaticamente escolhe a melhor opção de solução, em função da estrutura do problema. Para a situação onde o número de classes de navios operando nas diversas plataformas varia entre um e quatro, pode-se usar mais de uma abordagem em paralelo e considerar como solução a alternativa mais rápida ou com melhor resultado. Este modelo está sendo testado na PETROBRAS e tem-se mostrado uma ferramenta eficaz para a integração de sua cadeia de suprimentos de petróleo, bem como permitindo a análise de cenários para a obtenção de soluções alternativas até então não exploradas.

Palavras-chave

Planejamento do Suprimento de Petróleo; Programação Inteira; Algoritmo de Decomposição; Programação Disjuntiva; Reformulações.

Abstract

Rocha, Roger; Poggi de Aragão, Marcus V.S.. **Petroleum Supply Planning: Models, Reformulations and Algorithms**. Rio de Janeiro, 2010. 124p. DSc Thesis — Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Petroleum Supply Planning activity is an important link for the integration of the Petroleum Supply Chain at PETROBRAS as it is responsible for refining the strategic supply planning information to be used at the operational level. In this thesis we set the ground for understanding this important problem and we propose a mathematical model to solve it. Although the solvers in the last decade have evolved enormously, for this particular application we cannot get solutions with satisfactory quality in reasonable computational time with only the initial proposed model. This directed the line of research of this thesis into investigating, in detail, the structure of this problem in order to find more suitable reformulations and algorithms to tackle it. Our primary goal is to solve efficiently the petroleum supply planning problem at PETROBRAS. Nevertheless as a by-product of this endeavor, we propose a novel decomposition algorithm and reformulations based on a cascading knapsack structures that turn out to be applicable in a wide range of problems. Concerning the achievement of the main objective, we obtain good results for all instances we tested. We show that the novel decomposition algorithm is the most fitted method to solve the petroleum supply planning problem if we consider more than two tankers to offload each platform. In the case of one or two tankers to offload each platform, the hull relaxation formulation based on the cascading knapsack structure introduced after an inventory reformulation at platforms is the best option if one is to solve this problem. For the real application, these solution alternatives allow to implement a general algorithm that automatically switches to the best solution option depending on the structure of the problem. For the mixed situation, i.e., number of tanker varying from one to four, one can use more than one approaches in parallel and take the fastest or the best result obtained. This model is being tested at PETROBRAS and is showing to be an effective tool to help integrate its petroleum supply chain as well as to do what-if analysis to look for alternative solutions never thought before.

Keywords

Petroleum Supply Planning; Integer Programming; Decomposition Algorithm; Disjunctive Programming; Reformulations.

Contents

List of Figures

List of Tables