



**Gustavo Souto dos Santos Diz**

**Proposta de um sistema de suporte à decisão  
para programação de navios baseado em  
otimização: um caso prático**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo  
Co-orientador: Roger Rocha

Rio de Janeiro  
Abril de 2012



**Gustavo Souto dos Santos Diz**

**Proposta de um sistema de suporte à decisão  
para programação de navios baseado em  
otimização: um caso prático**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo**  
Orientador  
Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Roger Rocha**  
Co-orientador  
CENPES / PETROBRAS

**Prof. Silvio Hamacher**  
Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**  
Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. José Eugênio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 12 de Abril de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Gustavo Souto dos Santos Diz**

Graduou-se em Engenharia de Produção pela UFF (Universidade Federal Fluminense) em dezembro de 2002. Trabalhou na empresa Arroba 1000 Alimentos na área de logística de distribuição de alimentos. É funcionário da PETROBRAS desde 2004, onde atuou na área de Estratégia e Desempenho Empresarial até 2008, na atividade de planejamento tático. Desde então, trabalha na área de Logística, sob a diretoria de Abastecimento, onde atuou na atividade de programação de navios de longo curso de petróleo por três anos. Atualmente, faz parte da equipe de programação de navios de cabotagem de petróleo.

#### Ficha catalográfica

Diz, Gustavo Souto dos Santos

Proposta de um sistema de suporte à decisão para programação de navios baseado em otimização: um caso prático / Gustavo Souto dos Santos Diz ; orientador: Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo; co-orientador: Roger Rocha. – 2012.

89 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática, 2012.

Inclui bibliografia

CDD: 004

A Deus e à minha família.

## Agradecimentos

A minha esposa Alessandra e meu filho Théo, que são minha fonte de inspiração para continuar buscando ser sempre uma pessoa melhor.

Aos meus pais Eduardo e Eliana pelo apoio, incentivo e carinho que sempre me proporcionaram ao longo de minha vida.

Aos gerentes Giselle Prata e Ilmar Lopes que me proporcionaram a participação neste curso de mestrado, me apoiaram e incentivaram durante o transcorrer do curso.

À PETROBRAS pela oportunidade de realizar este curso com todo o apoio necessário.

Aos colegas de trabalho da AB-LO/OL/SP, especialmente Cristiane e Mirna, pelo apoio e informações indispensáveis para a aplicação do protótipo em fase de teste.

Aos orientadores Luiz Felipe Scavarda e Roger Rocha e ao professor Silvio Hamacher pelo suporte e orientação indispensáveis para realização deste trabalho.

## Resumo

Diz, Gustavo Souto dos Santos; Scavarda, Luis Felipe (Orientador); Rocha, Roger (Co-orientador). **Proposta de um sistema de suporte à decisão para programação de navios baseado em otimização: um caso prático.** Rio de Janeiro, 2012. 89p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O aumento da produção de petróleo brasileiro e o consequente aumento na demanda por transporte marítimo levaram a PETROBRAS a buscar ferramentas para aumentar a eficiência de seu transporte marítimo. Neste sentido, a atividade de programação de navios busca alocar os navios a um conjunto de cargas definido *a priori*, respeitando as restrições comerciais e operacionais, a fim de transportá-las com o menor custo possível. Com o intuito de auxiliar o programador nesta atividade, esta dissertação propõe um sistema de suporte à decisão (SSD) baseado em otimização para a programação de navios. O SSD proposto foi desenhado especificamente para a atividade de longo curso de navios de petróleo da PETROBRAS, sendo este gerado a partir da adaptação de modelos disponíveis na literatura acadêmica. Os testes comparativos realizados com o protótipo do SSD na atividade de longo curso de navios de petróleo mostraram que a ferramenta tem um significativo potencial de redução de custo. O SSD proposto se apresentou como uma opção viável para auxiliar a programação de navios da companhia na busca pela redução de custos de transporte marítimo.

## Palavras chaves

Transporte Marítimo; programação de navios; programação linear inteira; sistema de suporte à decisão.

## Abstract

Diz, Gustavo Souto dos Santos; Scavarda, Luis Felipe (Advisor); Rocha, Roger (Co-advisor). **An optimization based decision support system proposed for ship scheduling: a practical approach.** Rio de Janeiro, 2012. 89p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The increasing production of Brazilian oil and the consequent increase in the demand for shipping, led PETROBRAS to seek tools to increase the efficiency of its shipping. In this sense, the activity of ship scheduling seeks to assign vessels to a set of cargos, respecting business and operational restrictions in order to transport them with the lowest possible cost. To assist the ship scheduling planner in this activity, this dissertation proposes an optimization based decision support system (DSS) for ship scheduling. The proposed DSS was designed specifically for the long-term tanker scheduling activity at PETROBRAS and it was implemented based on models available in the academic literature. The comparative tests using the DSS prototype proposed in this dissertation showed that it has a potential for significant cost reduction. The proposed DSS was considered a viable tool to assist the ship scheduling planners in reducing shipping costs.

## Keywords

Maritime transportation; ship scheduling; integer linear programming; decision support system.

## Sumário

1. Introdução	12
1.1. Objetivos e delimitação da pesquisa	14
1.2. Método de pesquisa e estrutura da dissertação	15
2. Revisão da literatura acadêmica	17
2.1. Transporte marítimo e a programação de navios	17
2.2. Problemas de otimização em programação de navios	19
2.3. Abordagem de Brown <i>et al.</i> (1987) e estudos subsequentes	28
2.3.1. 1ª Etapa: Geração das programações factíveis	28
2.3.2. 2ª Etapa: Avaliador de Custo	32
2.3.3. 3ª Etapa: Modelo de Programação Inteira	36
2.3.4. 4ª Etapa: Aplicação de um procedimento de solução eficiente	38
3. Programação de navios – Situação PETROBRAS	40
3.1. Programação de Longo Curso de Petróleo	41
3.2. Método de Programação	42
4. Descrição do sistema de suporte à decisão proposto	48
4.1. 1ª Etapa: Geração de programações factíveis	49
4.1.1. Geração das rotas	50
4.1.2. Geração das programações factíveis	52
4.2. 2ª etapa: Avaliador de custos	52
4.3. 3ª Etapa: Modelo de programação inteira	56
4.4. 4ª Etapa: Aplicação de um procedimento de solução eficiente	58
5. Protótipo e análise dos resultados	60
5.1. Dados utilizados no modelo	61
5.2. Testes	62
5.3. Análise dos resultados	64
5.3.1. Descrição dos resultados	67
5.3.2. Validação dos resultados do SSD	68
6. Conclusão	73



6.1. Oportunidades de pesquisas futuras	74
Referências Bibliográficas	76
Apêndice A	81
Apêndice B	88

## Lista de Figuras

Figura 1 - Movimentação de navios no horizonte de tempo discreto.	24
Figura 2 - Rotas com trechos de navegação em lastro diferentes.	44
Figura 3 - Fluxograma do método de programação.	46
Figura 4 - Formação das rotas.	50
Figura 5 - Matriz de rotas factíveis.	51
Figura 6 - Cálculo do prêmio pela antecipação do navio.	54
Figura 7 - Fluxograma do método para testes do protótipo.	64

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Sumário da revisão bibliográfica.	25
Tabela 2 - Sumário de custos utilizados no SSD.	56
Tabela 3 - Comparativo de resultados.	66
Tabela 4 - Instância nº 8 - Indicação de programação do SSD.	88
Tabela 5 - Instância nº8 - Programação após ajustes do programador.	89
Tabela 6 - Instância nº8 - Comparativo de resultados.	89