

# 1 Introdução

O transporte marítimo é um dos mais importantes modais de transporte, atende cerca de 80% do volume de mercadorias comercializadas internacionalmente (UNCTAD, 2010) e é a única opção eficaz, em termos de custo, para o transporte de grandes volumes entre continentes (Norstad *et al.*, 2010). De acordo com Christiansen *et al.* (2004), o transporte marítimo tem o monopólio do transporte de grandes volumes entre continentes e apresentam uma perspectiva de aumento para o futuro devido ao crescimento da população mundial, a melhora dos padrões de vida e a internacionalização das empresas. Somente no ano de 2009, cerca de 7,8 bilhões de toneladas de carga foram transportadas no mundo através do modal marítimo. O transporte de petróleo, e seus derivados, é muito expressivo, sendo responsável por cerca de 34% deste total, ou seja, 2,649 bilhões de toneladas. Para prover este transporte, a frota mundial de navios petroleiros atingiu 418 milhões de toneladas de porte bruto em 2009 (UNCTAD, 2010).

Diante do aumento da demanda por transporte, a preocupação com o custo é fundamental. De acordo com Kumar (2004), o custo do transporte marítimo é um componente muito pequeno no preço comercial do petróleo. Para exemplificar este fato, o custo do transporte marítimo representa menos de 1,3% do preço comercial do petróleo no Reino Unido (Glen e Martin, 2002). Embora o custo do transporte marítimo seja pequeno em relação ao valor do petróleo, em termos absolutos, o valor é bastante significativo, e tende a ficar maior diante da perspectiva de aumento da demanda por transporte deste produto por via marítima.

Uma das formas de se reduzir o custo no transporte marítimo é por meio da programação de navios. Esta atividade lida com a alocação de um conjunto de cargas aos navios da frota que estão disponíveis, buscando minimizar os custos relacionados com a operação (Fagerholt e Lindstad, 2007). A programação de navios é uma ferramenta importante para redução de custos de

transporte marítimo, tanto que os programadores, normalmente, são funcionários bastante respeitados dentro das companhias de navegação (Fagerholt, 2004).

A literatura acadêmica apresenta diversos estudos científicos sobre o problema de otimização em programação de navios. Um dos pioneiros nesta área foi Flood (1954), que estudou um problema de programação de navios diante de uma frota militar de navios tanque. Outro trabalho importante nesta área foi Appelgren (1969), considerado no ambiente acadêmico como o primeiro a utilizar a abordagem de geração de colunas aplicada a um problema de programação de navios. Nas duas últimas décadas o estudo sobre este tema foi intensificado no ambiente acadêmico, o que é notado comparando o número crescente de artigos relacionados nas pesquisas de Ronen (1993) e Christiansen *et al.* (2004). Estes dois trabalhos se propuseram a sumarizar sistematicamente as publicações sobre programação de navios das respectivas décadas.

Neste contexto, o trabalho de Brown *et al.* (1987) merece destaque. Seus autores apresentam um problema clássico de programação de navios de petróleo. Para solucionar este problema em uma grande empresa de petróleo, Brown *et al.* (1987) utilizam um modelo *Elastic Set Partitioning* que gera todas as programações factíveis e busca minimizar o custo de operação dos navios. Este modelo tem quatro etapas principais: na primeira etapa um gerador de programações cria um conjunto completo de programações factíveis para atender todas as cargas disponíveis; na segunda etapa são calculados os custos de todas as programações geradas no passo anterior; na terceira etapa, um modelo de programação inteira encontra a combinação de programações que minimiza o custo de operação da frota; e, finalmente, na quarta etapa, um procedimento de solução eficiente é aplicado ao problema.

A pesquisa de Brown *et al.* (1987) serviu de base para diversos artigos científicos que estenderam a pesquisa inicial adicionando novos detalhes e diferentes perspectivas ao problema, podendo-se citar como exemplos: Perakis e Bremer (1992), Bremer e Perakis (1992), Scott (1995), Bausch *et al.* (1998) e Sherali *et al.* (1999). Embora, o interesse acadêmico neste tema tenha aumentado a partir dos anos 90, a maioria dos estudos encontrados têm sido em um nível teórico e experimental, com foco em algoritmos de otimização. Poucos modelos apresentados na literatura foram aplicados em problemas reais de programação de navios (Fagerholt, 2004). Song e Furmam (2010) destacam que poucos estudos publicados na literatura acadêmica apresentam modelos

aplicados com sucesso em casos reais, deixando uma avenida aberta para pesquisas futuras sobre este tema.

### **1.1. Objetivos e delimitação da pesquisa**

Diante da perspectiva da PETROBRAS de aumento da exportação de petróleo para os próximos anos, aumentando assim a demanda por transporte marítimo, faz-se necessário investigar alternativas para redução do custo unitário de transporte que daí serão decorrentes. Atualmente, a única ferramenta de suporte à decisão utilizada pelos programadores da empresa a fim de buscar redução de custos é uma planilha eletrônica que compara cenários de programação. No entanto, esta ferramenta não atende mais as atuais necessidades da empresa, sendo de muita interação manual. Por este motivo, torna-se inviável a comparação de mais do que três ou quatro cenários por vez, onde cada um não possui mais do que duas ou três viagens, normalmente. Esta ferramenta é utilizada somente quando o programador está em dúvida quanto a qual programação seguir, no restante do tempo a programação segue um método prático baseado na experiência dos programadores que busca reduzir a sobrestadia e aumentar a eficiência dos navios da frota.

Neste contexto, a literatura acadêmica apresenta diversos modelos de otimização para programação de navios. Quanto à aplicação destes modelos, verifica-se que seria muito difícil modelar todas as informações e restrições inerentes à atividade de transporte marítimo e, mesmo que fosse possível, isto demandaria muito trabalho manual do usuário para inserir dados e parâmetros, tornando a programação muito trabalhosa e pouco funcional. Isto poderia gerar desconfiança no programador, aumentando a possibilidade de este boicotar o sistema (Fagerholt, 2004).

Diante do cenário apresentado e da carência de estudos de modelos de SSD para a programação de navios aplicados com sucesso em casos práticos, o objetivo desta dissertação é propor um SSD, baseado em um algoritmo de geração de programações, um avaliador de custos e um modelo de programação inteira onde a função objetivo minimiza os custos relacionados com a programação de navios. O SSD foi desenvolvido à luz da literatura acadêmica, para atender os anseios da companhia em gerir a frota de navios de forma mais eficiente. O SSD almeja auxiliar o programador a buscar sempre a programação

com menor custo operacional, respeitando as restrições físicas, operacionais e comerciais relacionadas com as cargas a serem transportadas.

A ideia principal é que o SSD forneça uma programação inicial com o custo mínimo para uma determinada instância onde um conjunto de cargas deve ser transportado. Em seguida o programador deve fazer a análise desta programação, a fim de validar suas viagens verificando todos os aspectos comerciais, físicos e operacionais que não foram modelados no sistema e, se for o caso, fazer os ajustes necessários para tornar a programação factível.

Cabe destacar que o sistema proposto não tem a intenção de substituir a figura do programador de navios. Um programador de navios experiente é fundamental para validar as programações geradas pelo modelo, verificando as diversas variáveis que não foram modeladas, mas que influenciam diretamente à tomada de decisão no transporte marítimo. Por este motivo, classifica-se o produto desta dissertação como um sistema de suporte à decisão, ao invés de sistema de otimização, conforme preconizado em Fagerholt (2004).

## **1.2. Método de pesquisa e estrutura da dissertação**

A fim de propor um SSD para auxiliar o programador na solução do problema de programação de navios, o método de pesquisa ação foi identificado como ideal para este estudo, em função da pesquisa ser participativa, ocorrer simultaneamente com a ação e ser uma sequência de eventos e abordagens utilizados para solucionar um problema (Coughlan e Coughlan, 2002). Portanto, após revisão da literatura acadêmica, foi desenvolvido um SSD adaptado à realidade da PETROBRAS composto por um algoritmo de geração de programações, um avaliador de custos e um modelo matemático. A validação do SSD foi feita por meio da aplicação de um protótipo utilizando os softwares Microsoft Excel® e AIMMS®, em caráter experimental, na atividade de programação de navios de longo curso de petróleo da PETROBRAS durante um período de três meses (Janeiro à Março de 2012).

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, sendo este introdutório. O Capítulo 2 oferece uma revisão bibliográfica sobre o problema de programação de navios. O Capítulo 3 descreve a situação atual da programação de navios de longo curso dentro da PETROBRAS e as oportunidades de melhoria encontradas. O Capítulo 4 apresenta o modelo de SSD proposto. O

Capítulo 5 descreve e analisa os resultados dos testes computacionais realizados com o protótipo do modelo proposto para validar e comprovar a economia que pode ser gerada com a sua aplicação. O capítulo 6 apresenta as conclusões e recomendações para pesquisas futuras.