

2

Revisão da literatura

No intuito de ressaltar a importância da programação de navios, neste capítulo é oferecida uma revisão da literatura sobre este tema, e quais são as principais soluções elaboradas pela comunidade científica. A seção 2.1 apresenta os principais conceitos sobre transporte marítimo. A seção 2.2 apresenta quais são os principais problemas em programação de navios. A seção 2.3 traz um aprofundamento sobre os aspectos importantes dos conceitos envolvidos no dimensionamento da frota e dos tipos de navios.

2.1

Transporte marítimo

Logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, estoques em processo, produtos acabados e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes (CSCPM, 2014).

Segundo Ballou (2004), dentre as diversas áreas operacionais da logística, o transporte normalmente representa o elemento mais importante em termos de custos logísticos para inúmeras empresas. A movimentação de cargas absorve de um a dois terços dos custos logísticos totais. Tal representatividade explica a grande importância que vem sendo atribuída a esta área tanto pelos pesquisadores acadêmicos quanto pelos gestores empresariais.

Os modais de transporte existentes são o marítimo, ferroviário, rodoviário, aeroviário e dutoviário. Dentre estes modais, o transporte marítimo é o que movimenta o maior volume de produto, por longas distâncias, ao menor custo. Em 2012 foram transportados cerca de 9,2 bilhões de toneladas de produto pelo modal marítimo, sendo que o transporte de petróleo, gás e derivados representa aproximadamente 31% deste total (UNCTAD, 2013).

O transporte marítimo pode ser definido como de longo curso, quando os portos de origem e destino encontram-se em países distintos, ou de cabotagem, quando os portos de origem e destino encontram-se dentro do mesmo país.

Devido a longa faixa litorânea pertencente ao Brasil, o transporte de cabotagem desempenha um importante papel na atividade econômica brasileira. Dados referentes a 2012 registraram um movimento de 201 milhões de toneladas entre os portos brasileiros nesse ano (CNT, 2013).

Segundo Christiansen *et al.* (2007), os diversos tipos de navios podem ser classificados da seguinte maneira:

- Navios-tanque: são os navios projetados para transportar líquidos a granel, como petróleo e seus derivados, produtos químicos e outros líquidos.
- Graneleiros: são os navios projetados para transportar granel seco, como minério de ferro, carvão, grãos, bauxita, fosfato e outros minerais.
- Gaseiros: são os navios projetados para transportar gás refrigerado sob alta pressão.
- Porta-contêineres: são os navios que transportam grandes caixas de metal, hermeticamente fechadas e padronizadas, nas quais bens e mercadorias são armazenados.
- Carga geral: estes navios transportam em seus porões e convés os mais diversos tipos de mercadorias, embaladas ou não. O uso de pallets é comum para a organização das mercadorias a bordo do navio.
- Refrigerados: são os navios projetados para transportar cargas que requerem refrigeração ou controle de temperatura, como peixe, carne e frutas.
- *Roll-on-Roll-off* (Ro-Ro): estes navios são projetados para transportarem, principalmente, veículos automotores. Se caracterizam por possuir rampas de acesso para carros, ônibus e caminhões, facilitando suas operações de carga e descarga.

- Outros tipos: navios de passageiros, pesqueiros, supridores, ferries, barças, navios de pesquisa, dragas, navios de guerra, entre outras embarcações para fins especiais.

Os navios dedicados ao transporte exclusivo de mercadorias são denominados navios comerciais. De acordo com Lawrence (1972), citado por Christiansen *et al.* (2007), existem três tipos de operadores para os navios comerciais: os operadores *liners*, *tramp* e *industrial*. Os *liners shipping* seguem uma rota fixa de acordo com uma programação previamente definida, procurando maximizar o lucro, semelhante a linhas de ônibus. O operador *tramp shipping* programa seus navios de acordo com a disponibilidade de cargas no mercado, semelhante a um taxi. Geralmente, o operador *tramp shipping* possui cargas contratadas para transportar, e procura maximizar o lucro transportando cargas opcionais. Os operadores *industrial shipping* são os donos das cargas e controlam os seus próprios navios, procurando minimizar o custo de entrega dessas cargas. A Petrobras se enquadra neste último tipo de operador, pois possui uma frota particular de navios que são empregados para movimentar suas próprias cargas de petróleo, gás e derivados.

2.2 Problemas em programação de navios

Segundo Christiansen *et al.* (2007), os problemas em programação de navios podem ser classificados, de acordo com o horizonte de planejamento, em estratégicos, táticos e operacionais. Steffensen (2012) complementa esta classificação, definindo que os problemas estratégicos são aqueles que se estendem por vários anos, os táticos por meses e os operacionais lidam com as decisões do dia a dia.

Entre os problemas estratégicos, estão:

- Seleção de mercado e do comércio;
- Projeto de navios;
- Projeto de sistema de rede e transporte (incluindo a determinação de pontos de transbordo de serviços intermodais);

- Dimensionamento de frota e dos tipos de navios, e;
- Projetos de portos e terminais.

Os problemas táticos incluem:

- Ajustes no tamanho e tipo da frota;
- *Fleet deployment* (atribuição de navios específicos a rotas comerciais);
- Roteamento e programação de navios;
- Programação de navios associado à gestão de estoque nos pontos de carga e descarga;
- Sequenciamento de atracações em berços;
- Sequenciamento de utilização de guindastes;
- Gerenciamento de pátio de contêineres;
- Planejamento de armazenagem de contêineres;
- Gestão de navios, e;
- Distribuição de contêineres vazios.

Os problemas operacionais envolvem:

- Seleção de velocidade de cruzeiro;
- Carregamento de navios, e;
- Roteamento sujeito a restrições ambientais e climáticas.

Em todas estas classes a pesquisa operacional é largamente aplicada para encontrar a melhor solução para os principais problemas existentes. A primeira revisão da literatura sobre a aplicação da pesquisa operacional em programação de navios foi apresentada por Ronen (1983). Esta revisão aborda os artigos mais relevantes relacionados exclusivamente ao roteamento de navios, publicados até então. Uma década depois, Ronen (1993) revisa a literatura novamente, trazendo o que de mais importante foi desenvolvido no período entre estas duas publicações. A principal constatação de Ronen (1993) é de que o desenvolvimento computacional expressivo que estava ocorrendo naquela época contribuiu para a solução de problemas mais robustos e complexos. No entanto, alerta que grande

parte destes problemas eram teóricos, e que as aplicações práticas ainda eram escassas. Ronen (1993) aumenta o escopo dos problemas pesquisados, incluindo dimensionamento de frota e de tipos de navios, gestão de estoque nos portos de carga e descarga, velocidade ótima de navegação, entre outros. Seguindo a mesma lógica, Christiansen *et al.* (2004) e Christiansen *et al.* (2013) revisam a literatura para as décadas de 1994-2003 e 2004-2013, respectivamente. Percebe-se, nestas duas últimas revisões, que a quantidade de referências estudadas aumentou consideravelmente em relação às duas anteriores. Christiansen *et al.* (2013) constata que o volume de pesquisa nesta área praticamente dobra a cada década. Temas mais especializados foram incorporados nestas duas últimas revisões, como por exemplo, abastecimento de navios, emissões, logística *off-shore*, transbordo, armazenagem e análises estatísticas. As quatro revisões aqui citadas constituem um valioso material para estudo e aprofundamento sobre o emprego da pesquisa operacional em programação de navios.

2.3

Dimensionamento da frota e dos tipos de navios

O dimensionamento da frota e dos tipos de navios consiste em determinar a quantidade e o porte dos navios que deverão compor a frota necessária para atender a todos os compromissos dos armadores ou afretadores dos navios. Recentemente, duas revisões de literatura foram publicadas e, juntas, formam um panorama bastante completo sobre o tema. A primeira foi publicada por Hoff *et al.* (2010) e apresenta uma visão geral do dimensionamento de frota e do roteamento de veículos, abordando problemas relativos ao transporte marítimo, rodoviário, e as intercessões entre estes dois modais. A segunda foi publicada por Pantuso *et al.* (2013) e apresenta uma revisão específica sobre o dimensionamento de frota para o transporte marítimo. Os autores classificam os modelos encontrados na literatura em *single-period maritime fleet size and mix models* e *multi-period maritime fleet size and mix models*. A primeira categoria é focada no dimensionamento de frota de navios para sistemas de transporte cujas características não se alteram com o passar do tempo. Normalmente aplica-se a operações de curto prazo. A segunda categoria é uma extensão da primeira, onde

se busca um ajuste dinâmico da frota em resposta à evolução das necessidades de transporte.

O dimensionamento da frota e dos tipos de navios é um problema estudado há bastante tempo. O primeiro artigo publicado sobre este tema foi em 1954 (Dantzig & Fulkerson, 1954). Neste artigo, os autores propõem um modelo de programação linear para minimizar o número de navios-tanque necessários para transportar óleo combustível para abastecimento dos navios da marinha americana. A solução foi encontrada utilizando o algoritmo simplex.

Everet *et al.* (1972) propõem um modelo de programação linear para dimensionar a frota da marinha mercante americana necessária para transportar 15% do volume das principais commodities comercializadas internacionalmente pelos EUA. O modelo também foi utilizado para obter orientação preliminar em relação aos melhores projetos de navios, os tamanhos, e as missões da frota resultante. Os autores empregam análises de sensibilidade para avaliar as alterações na frota em resposta a variações nas previsões de mercado e das características portuárias. Este mesmo problema foi ligeiramente modificado e reproposto por Bradley *et al.* (1977).

Murotsu & Taguchi (1975) propõem um modelo para determinar o tamanho ideal da frota de navios petroleiros para atender uma demanda de transporte em uma rota arbitrária, considerando apenas um porto de carga e um porto de descarga. Para solucionar o problema, os autores aplicam o conceito de programação dinâmica e técnicas de programação não-linear.

Crary *et al.* (2002) tiveram como objetivo dimensionar a frota de navios contratorpedeiros da marinha americana visando um potencial conflito na península coreana. Para isso, utilizaram-se de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão chamada AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para levantar opiniões de especialistas e, depois, estas opiniões foram integradas a um modelo de programação inteira mista, com o objetivo de estimar a probabilidade de vitória no conflito e de encontrar a frota ótima de navios.

Zeng & Yang (2007) apresentam um modelo de otimização para melhorar a eficiência do transporte marítimo de carvão para um dos maiores supridores do mercado chinês. O objetivo deste modelo é dimensionar a frota de navios e otimizar o roteamento dos mesmos, minimizando, assim, o custo de transporte

total. Um algoritmo baseado em uma heurística de busca tabu foi desenvolvido para resolver o problema. Testes numéricos mostraram que o modelo proposto pode reduzir o custo unitário de transporte e o atraso médio dos navios.

Um problema relacionado ao dimensionamento de frota e dos tipos de navios, bastante discutido na literatura, é o *fleet deployment*, que consiste em alocar uma frota disponível às várias rotas comerciais existentes. Este tipo de problema é mais comum nas operações *liner shipping*, onde as programações dos navios precisam ser publicadas com certa antecedência, e o afretamento de navios no curto prazo é menos comum, isto é, o tamanho da frota e os tipos de navio estão menos sujeitos a mudanças. (Ronen, 1993).

Vários autores deram atenção especial a este tipo de problema específico. Papadakis & Perakis (1989) tratam do excesso de capacidade de transporte existente em um contrato de afretamento com múltiplas origens e múltiplos destinos. Eles utilizam um modelo de programação não linear para alocar os navios aos pares de portos origem-destino e para determinar a velocidade ótima de navegação nos trechos em lastro e com carga.

Fagerholt & Lindstad (2000) estudaram o suprimento de sete instalações offshore de uma empresa petrolífera no Mar da Noruega, realizada por navios supridores a partir de um terminal terrestre. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito sobre o custo total de suprimento de se ter algumas ou todas as instalações fechadas para o serviço durante a noite, além de determinar uma política de roteamento ideal para os navios supridores. Para solucionar o problema, os autores propõem um algoritmo para dimensionar a frota ótima e a programação semanal de cada navio supridor. Este algoritmo foi dividido em duas etapas. Na primeira, todas as rotas factíveis para cada navio de uma frota já existente foram geradas. Na segunda etapa, os navios que deveriam ser utilizados e suas programações semanais foram determinados através da solução de um modelo de programação inteira. Halvorsen-Weare *et al.* (2012) apresentam um problema semelhante incluindo elementos mais realistas, como o intervalo entre as partidas dos navios e o tempo máximo e mínimo de duração das viagens.

Cho & Perakis (1996) consideram o caso de dimensionar a frota e determinar as rotas ótimas para uma empresa de transporte de contêiner. Eles geraram um número de rotas viáveis para os diferentes navios existentes na frota e

usaram um modelo de programação linear para encontrar um conjunto de rotas ótimas e a frequência ideal de serviço. Um modelo de programação inteira mista, que avalia possíveis investimentos para a expansão da frota, também é apresentado. O tipo de modelo e o método de solução empregado é similar ao método utilizado por Fagerholt & Lindstad (2000).

Xinlian *et al.* (2000) apresentam um algoritmo que combina técnicas de programação linear com técnicas de programação dinâmica para melhorar a solução de um modelo de dimensionamento de frota previamente apresentado em Xinlian *et al.* (1989). O objetivo é planejar a composição da frota no longo prazo, definindo quais tipos de navios devem ser adicionados ou retirados anualmente de uma frota já existente, a fim de atender um determinado padrão de demanda. O modelo também se propõe a alocar cada navio a uma rota específica.

Outros artigos sobre *fleet deployment*, citados por Pantuso *et al.* (2013), são Schwartz (1968), Lane *et al.* (1987), Mehrez *et al.* (1995), Fagerholt (1999), Meng & Wang (2010), Halvorsen-Weare & Fagerholt (2011) e Meng *et al.* (2012).

Em sua dissertação de mestrado, Steffensen (2012) avalia a precisão de um modelo matemático já existente para o dimensionamento da frota de navios, desenvolvido pelo *Norwegian Marine Technology Research Institute* (MARINTEK). O autor explora a aplicação do modelo em uma empresa de navegação do segmento *Roll-on-roll-off* (Ro-Ro), variando o horizonte de planejamento, o custo do bunker e utilizando variáveis contínuas ao invés de variáveis inteiras. Para checar a confiabilidade do modelo, o autor propõe um novo modelo para alocar a frota dimensionada às rotas existentes. O modelo investigado pelo autor, após algumas modificações, mostrou-se bastante aderente ao problema de dimensionamento de frota dos navios de claros da PETROBRAS e, por este motivo, foi escolhido para servir de base no estudo de caso que será apresentado na sequência desta dissertação.