

## 5 Estudo de caso

Este capítulo apresenta os dados de entrada e os resultados do modelo matemático de dimensionamento da frota dos navios de derivados claros da PETROBRAS. A seção 5.1 apresenta as definições e características de todos os dados de entrada considerados. A seção 5.2 traz uma descrição detalhada e uma análise crítica dos resultados do modelo. Na seção 5.3 é realizada uma análise de sensibilidade, onde será verificado o comportamento do modelo em função da alteração de alguns parâmetros essenciais.

### 5.1 Dados de entrada

Para testar a validade do modelo, uma série de dados de entrada e parâmetros iniciais precisam ser levantados para reproduzir o ambiente de programação de navios. Adotando a mesma classificação utilizada por Diz (2012), estes dados e parâmetros foram divididos entre dados fixos e dados dos cenários. Diz (2012) ainda propõe uma terceira classificação, chamada de dados das cargas, que não se aplica ao problema de dimensionamento da frota aqui estudado.

#### Dados fixos

Os dados fixos são aqueles que não variam com frequência ao longo do tempo, como por exemplo, porte dos navios, consumo de *bunker* dos navios de cada porte, velocidade de navegação, calado, tempo de operação, distâncias entre os portos de carga e descarga, entre outros.

**Porte dos navios:** devido a restrições dos portos como profundidade, tancagem e vazões, a PETROBRAS utiliza, normalmente, três portes de navio para a navegação de cabotagem de derivados claros, a saber:

- *Small* (capacidade total de aproximadamente 18.000 m<sup>3</sup>)
- *Handsize* (capacidade total de aproximadamente 32.000 m<sup>3</sup>)
- *Middle Range* (capacidade total de aproximadamente 50.000 m<sup>3</sup>)

Cada categoria possui características próprias de navegabilidade e desempenho, e foram os três portes colocados à disposição do modelo matemático para o dimensionamento de frota. Navios do porte Aframax e Panamax são utilizados somente na importação de derivados de regiões distantes, como Índia, China e Golfo Pérsico, sendo raramente usados na cabotagem. Navios de grande porte, como *Very Large Crude Carrier* (VLCC) e *Ultra Large Crude Carrier* (ULCC) nunca são utilizados na navegação de cabotagem.

**Portos de carga e descarga:** os portos de carga e descarga constituem os nós do modelo, e estão discriminados abaixo em ordem geográfica do sul para o norte:

- Portos de carga: Tramandaí, Santos, São Sebastião, Rio de Janeiro, Salvador, Suape, Guamaré e São Luis.
- Portos de descarga: Rio Grande, Paranaguá, Vitória, Tubarão, Salvador, Maceió, Suape, Cabedelo, Guamaré, Fortaleza, Belém, Santana, Itacoatiara e Manaus.

É importante ressaltar que o modelo matemático em questão não pretende dimensionar a frota de navios de longo curso. Sendo assim, os pólos de São Luis e São Sebastião, apesar de na prática também receberem produtos, foram considerados somente como portos de carga, pois os navios que trazem produtos importados a estes portos, além de descarregar, também transbordam produto para outros navios que irão atender outros pólos. Ou seja, a demanda destes pólos não é atendida via cabotagem e sim por importação. Além disso, o volume excedente que chega através deles é destinado a outros portos, via cabotagem.

Os portos de Guamaré, Suape e Salvador são considerados como de carga e descarga pois apresentam oferta e demanda para produtos diferentes.

**Produtos:** os produtos levados em consideração para a construção do modelo foram: nafta petroquímica, gasolina, gasolina de alta octanagem (*booster*), querosene de aviação (QAV), diesel S10 (10 ppm de enxofre), diesel S500 (500 ppm de enxofre) e diesel com alto teor de enxofre (acima de 5.000 ppm de enxofre). Estes produtos representam aproximadamente 98% de toda a movimentação de derivados claros realizada pela PETROBRAS.

**Arcos de movimentação:** para cada par de portos de carga e descarga onde existe oferta e demanda de um mesmo produto foi criado um arco de movimentação. Ou seja, foi informado ao modelo todos os pares de portos em que a movimentação real de produto é factível. No entanto, estes arcos deverão ser revistos quando a adaptação dos esquemas de produção das refinarias existentes, a construção de novas refinarias e o crescimento do mercado consumidor modificarem as configurações de oferta e demanda existentes atualmente.

**Tempo de viagem (dias):** para o modelo em questão, o conceito de tempo de viagem é definido como o tempo total entre a chegada do navio no porto de carga e o retorno a este mesmo porto. Então, para cada arco de movimentação, foram calculados os tempos médios observados na prática para cada uma das situações abaixo:

- Tempo aguardando atracação no porto de carga;
- Tempo de operação no porto de carga;
- Tempo de viagem ente o porto de carga e o porto de descarga;
- Tempo aguardando atracação no porto de descarga;
- Tempo de operação no porto de descarga;
- Tempo de viagem entre o porto de descarga e o porto de carga.

Para o cálculo do tempo de viagem foi considerada uma velocidade média de 13 nós para todos os portes de navios. As distâncias entre os portos podem ser facilmente obtidas em sites como o *fairplay*, *dataloy.com* e *searates.com*, que por

sua vez já calculam, a partir da velocidade informada, o tempo de viagem entre os portos.

**Horizonte de planejamento (dias):** o horizonte de planejamento considerado foi de sessenta dias. Este período foi escolhido por abranger todos os tempos de viagem possíveis, além de ser também o horizonte apresentado no Plano de Movimentação de Derivados.

**Consumo de *bunker* e *marine gasoil* dos navios de cada porte (toneladas/dia):** os dois principais combustíveis consumidos pelas classes de navios abordadas nessa dissertação são o *Marine Fuel*, mais conhecido como *bunker*, e o *Marine Gasoil (MGO)*. O primeiro normalmente é consumido pelos motores do navio, responsáveis pela propulsão, enquanto o segundo é consumido em sistemas auxiliares de geração de energia ou de emergência.

O consumo de ambos varia em função da atividade que o navio estiver realizando. Por exemplo, se o navio estiver navegando carregado, o consumo de *bunker* será maior do que quando está navegando em lastro. Assim como o consumo de *marine gasoil* será maior quando o navio estiver descarregando, pois exigirá produção de energia para a operação das bombas internas de descarga. A lista abaixo apresenta as atividades que foram consideradas para o cálculo do consumo total de cada arco de movimentação:

- Consumo enquanto o navio aguarda fundeado no porto de origem;
- Consumo durante a operação de carga;
- Consumo durante a viagem para o porto de destino;
- Consumo enquanto o navio aguarda fundeado no porto de destino;
- Consumo durante a operação de descarga;
- Consumo durante a viagem de retorno para o porto de origem.

O consumo de *bunker* e *marine gasoil* de cada navio é estabelecido no contrato de afretamento. Para o modelo matemático em questão, o consumo

utilizado foi uma média do consumo dos navios de cada porte que já fazem parte da frota.

Os consumos de combustíveis calculados para cada arco foram multiplicados pelo custo de combustível (dado de cenário), formando assim uma das parcelas do custo operacional que deverá ser minimizado pela função objetivo.

**Calado (m):** é a profundidade atingida por um navio em função do seu peso total, variando conforme a quantidade de produto a bordo. Todos os portos possuem uma restrição de profundidade, que precisa ser respeitada pelo calado do navio. Para cada porto do modelo foi informado o volume máximo de produto que cada porte de navio pode conter a bordo para atingir o calado compatível com a sua restrição de profundidade.

É importante ressaltar que a profundidade do canal de acesso ou no píer de atracação de um porto varia pouco com o tempo. Este processo depende de intervenções de dragagens, que podem durar diversos meses, e da emissão de liberações e certificados dos órgãos ambientais competentes. Ou seja, quando houver mudança, ela deverá ser revista e informada ao modelo.

**Despesas portuárias:** estas despesas variam em função do porto e do porte dos navios, e são desembolsadas a cada atracação. Os principais itens que a compõe são despesas com praticagem, lanchas, livre prática e algumas taxas portuárias. A fonte de consulta destas despesas é uma planilha em Excel, atualizada pela gerência de gestão portuária da companhia. Os dados são disponibilizados em reais (R\$), porém foram convertidos para dólar (US\$) utilizando-se a cotação do dia 02/06/2014. Juntamente com os custos de combustíveis, as despesas portuárias compõem o custo operacional que deverá ser minimizado pela função objetivo.

**Custo dos contratos *Time Charter Party* – TCP (US\$/dia):** segundo Wakamatsu (2008), o contrato *Time Charter Party* consiste em um contrato de aluguel onde o fretador disponibiliza o navio para o afretador durante um

determinado período de tempo. Neste tipo de contrato, a gestão náutica do navio continua a ser de responsabilidade do fretador, enquanto que a gestão comercial será exercida pelo afretador. Ou seja, o primeiro é responsável por manter os seguros, mantimentos e tripulação em ordem, enquanto que o segundo será responsável por dar utilização ao navio, abastecer, pagar o combustível e as despesas portuárias.

O custo dos contratos TCP utilizados no modelo foi calculado a partir dos custos dos navios já contratados pela PETROBRAS à época de elaboração desta dissertação. Para cada porte de navio considerado foi calculado uma média de custo, e este valor foi informado ao modelo. Vale lembrar que os contratos TCP normalmente são fechados para longos períodos, variando de um a três anos, não sendo necessária sua atualização a cada rodada do modelo. Este custo compõe a parcela de custo fixo da função objetivo que deverá ser minimizada.

### **Dados dos cenários**

Os dados dos cenários são aqueles que variam ao longo do tempo, em função, principalmente, de alterações na conjuntura econômica nacional e mundial. Neste sentido, é importante que sejam atualizados a cada rodada do modelo. Os principais dados dos cenários presentes no modelo são o suprimento, a demanda e o custo dos combustíveis marítimos.

**Suprimento (m<sup>3</sup>):** os dados relativos à oferta de derivados em cada um dos portos de carga são retirados do Plano de Movimentação de Derivados. Este volume é calculado a partir de uma análise crítica das indicações do Sistema PlanAb. Todo este trabalho é realizado por uma equipe especializada em planejamento de curto prazo. Mensalmente é realizada uma revisão destes dados para os dois meses posteriores. Os dados utilizados no modelo referem-se ao suprimento disponível nos meses de Junho e Julho de 2014, e são apresentados na Tabela 1.

p	Nafta	Gasolina	Booster	QAV	Diesel s10	Diesel s500	Diesel ATE
São Luis		76030		62000	312000	137000	
Guamaré							53000
Suape					156000		
Salvador		190000	68000			205000	
Rio de Janeiro	246000		132000				
São Sebastião					312000	190000	
Santos		316640				130000	
Tramandaí		72000				90000	167000

Tabela 1: Suprimento de derivados por porto e produto.

**Demanda (m<sup>3</sup>):** a área comercial é responsável por realizar a previsão de demanda para todos os pólos consumidores do país. Todos os portos de descarga considerados no modelo representam pólos atendidos exclusivamente pela navegação de cabotagem. Semelhantemente à metodologia empregada no Plano de Movimentação de Derivados, a periodicidade de revisão desta previsão também é mensal, referente aos dois meses posteriores. Os dados utilizados no modelo referem-se à previsão de demanda acumulada para os meses de Junho e Julho de 2014, e são apresentados na Tabela 2.

p	Nafta	Gasolina	Booster	QAV	Diesel s10	Diesel s500	Diesel ATE
Manaus			132000		112500	109500	140000
Itacoatiara		36320			18500	66000	80000
Santana		21830				65000	
Belém		93900		24000	76000	98000	
Fortaleza		146900		38000	105000	47000	
Guamaré			68000		56000		
Cabedelo		91800				57000	
Suape		77400				125000	
Maceió		44890				42500	
Salvador	246000				52000		
Tubarão		57190			26000	87000	
Vitória		59450			22000	55000	
Paranaguá					202000		
Rio Grande					110000		

Tabela 2: Previsão de demanda por porto e produto.

**Custo do bunker e do marine gasoil (US\$/tonelada):** esta informação está disponível em diversos sites na internet. No entanto, ela pode ser facilmente

consultada junto à área de afretamento da companhia, que tem acesso a informativos de preços atualizados diariamente. A cada rodada do modelo esta informação precisa ser atualizada, pois varia consideravelmente devido a condições mercadológicas diversas.

## 5.2 Descrição e interpretação dos resultados

O primeiro resultado apresentado é o número de viagens realizadas nos arcos de movimentação, que representa a variável de decisão  $x_{vij}$ . A Tabela 3 traz as viagens alocadas aos navios da classe *Small*.

	Belém	Fortaleza	Suape	Tubarão	Vitória
São Luis	14	1			
Salvador	2		1		
Santos				1	1

Tabela 3: Número de viagens nos arcos de movimentação atendidas pelos navios *Small*.

Pela interpretação dos resultados da Tabela 3, verifica-se que os navios de menor porte (Claros18Kt), são alocados preferencialmente para o suprimento de Belém. Este porto é o que apresenta a menor restrição de profundidade entre todos os outros portos do modelo. Sendo assim, é percebida uma vantagem em alocar esta classe de navio a este porto, e assim aproveitar sua capacidade integral, uma vez que as outras duas classes somente podem operar em Belém se estiverem aliviados<sup>1</sup>. Além disso, os navios *Small* também são alocados para complementar o mercado de outros portos que são atendidos prioritariamente por navios maiores, como Fortaleza, Suape, Tubarão e Vitória, sendo necessária, nestes casos, somente uma viagem.

<sup>1</sup> Navios aliviados são aqueles que realizam determinadas viagens transportando um volume de carga menor do que sua capacidade máxima para atender as restrições de profundidade dos portos onde irá operar.

Os navios de porte intermediário (Claros30Kt), chamados *Handsize*, também foram prioritariamente alocados para atender portos onde podem operar em plena capacidade, como Fortaleza, Cabedelo, Maceió, Tubarão e Vitória. As indicações de três viagens para Manaus e duas para Rio Grande são feitas para complementar o atendimento do mercado destes portos. Caso estas viagens complementares fossem realizadas por navios maiores, a praça morta<sup>2</sup> total seria maior. Por exemplo, as duas viagens para Rio Grande são utilizadas para transportar um total de 60.000 m<sup>3</sup> de Diesel s10, como será apresentado posteriormente. Caso fosse alocado um navio da classe *Middle Range*, também seriam necessárias duas viagens, uma para transportar 50.000 m<sup>3</sup> e a outra para transportar o saldo de 10.000 m<sup>3</sup>, gerando uma praça morta de 40.000 m<sup>3</sup> na segunda viagem. Na indicação do modelo, o navio *Handsize* transporta 32.000 m<sup>3</sup> na primeira viagem e 28.000 m<sup>3</sup> na segunda, gerando uma praça morta de 4.000 m<sup>3</sup> na segunda viagem. Ou seja, a minimização dos custos totais definida na função objetivo leva o modelo a aproveitar a máxima capacidade da frota. A Tabela 4 apresenta um filtro somente das viagens alocadas a esta classe de navio.

	Manaus	Itacoatiara	Fortaleza	Cabedelo	Maceió	Salvador	Tubarão	Vitória	Rio Grande
São Luis		2	4						
Suape						2	1	1	
Salvador			4	3	3				
Rio de Janeiro	2								
São Sebastião	1							1	2
Santos			2	2			4	3	

Tabela 4: Número de viagens nos arcos de movimentação atendidos pelos navios *Handsize*.

Os maiores navios (Claros45Kt), chamados *Middle Range*, foram prioritariamente alocados em arcos onde, devido a restrições nos portos de origem e/ou destino, somente eles estão aptos a operar, como Guamaré e Tramandaí. Verifica-se também a indicação de utilizá-los em arcos onde existe grande

<sup>2</sup> Praça morta é a capacidade de carga de um navio que não é utilizada em determinada viagem em função de diversos fatores exceto a restrição de calado, como falta de carga, deficiência do navio, entre outros.

movimentação de produto e pouca ou nenhuma restrição de calado, como Rio de Janeiro – Salvador e São Sebastião – Paranaguá. Além disso, é importante ressaltar que esta classe de navios também foi alocada para realizar viagens longas, como São Sebastião – Manaus e São Sebastião – Itacoatiara. Nestes dois arcos o produto transportado é o Diesel s500, onde a fonte de suprimento mais próxima de Manaus e Itacoatiara é São Luís. No entanto, o modelo maximiza a entrega do produto de São Luís para Belém, através de viagens com navios *Small*, conforme já mencionado. Assim sendo, devido a qualidade do Diesel s500 requisitada por Manaus, São Sebastião torna-se a fonte de suprimento mais próxima. É importante perceber que, em alguns momentos, a movimentação entre portos distantes se faz necessária para obter um ganho maior em outra frente de movimentação. Na Tabela 5 as viagens alocadas especificamente a essa classe de navios estão resumidas.

i \ j	Manaus	Itacoatiara	Santana	Guamaré	Suape	Salvador	Paranaguá	Rio Grande
São Luis	3							
Guamaré	2	1						
Suape					3			
Salvador				1	4			
Rio de Janeiro	2						5	
São Sebastião	1	1				1		5
Santos								2
Tramandaí	3	2	1			1		

Tabela 5: Número de viagens nos arcos de movimentação atendidos pelos navios *Middle Range*.

O segundo resultado apresentado pelo modelo é o volume total de cada um dos produtos transportados nos arcos de movimentação, para cada um dos portes de navios, representada pela variável de decisão  $y_{vijp}$ . A melhor maneira de interpretar este resultado é analisando a distribuição de produto a partir de cada fonte de suprimento. A Tabela 6 apresenta os volumes movimentados a partir de Tramandaí.

Y S... Level		Y i Tramandaí			
		j			
		Manaus	Itacoatiara	Santana	Suape
p	v				
Gasolina	Claros45kt		21000	21830	4180
Diesel s500	Claros45kt	22000		22180	45820
Diesel ATE	Claros45kt	104000	63000		

Tabela 6: Volume movimentado a partir de Tramandaí.

Para analisar os dados acima, é preciso levar em consideração que os únicos pólos consumidores de Diesel ATE são Manaus e Itacoatiara, e que os únicos navios aptos a operar em Tramandaí são os *Middle Range*. A partir deste porto, o modelo aloca três viagens para Manaus, o que representa uma capacidade total de movimentação de 126.000 m<sup>3</sup> (= 42.000 m<sup>3</sup> x 3), levando em consideração a restrição de calado de Manaus. Ou seja, na terceira viagem, onde haveria uma praça disponível de 22.000 m<sup>3</sup> o modelo aproveita para movimentar Diesel s500. O mesmo tipo de raciocínio aplica-se a Itacoatiara. As duas viagens alocadas no arco Tramandaí – Itacoatiara possui uma capacidade total de movimentação de 84.000 m<sup>3</sup> (= 42.000 m<sup>3</sup> x 2). Na segunda viagem, a praça disponível de 21.000 m<sup>3</sup> é aproveitada para transportar Gasolina. Nas movimentações para Santana e Suape é alocada apenas uma viagem, onde existe o compartilhamento entre Gasolina e Diesel s500, no intuito de aproveitar a máxima capacidade do navio.

As movimentações realizadas a partir de Tramandaí irão afetar diretamente as movimentações realizadas a partir de Guamaré, onde o Diesel ATE é o único produto excedente. A Tabela 7 apresenta o volume movimentado a partir de Guamaré.

Y S... Level		Y i Guamaré	
		j	
		Manaus	Itacoatiara
p	v		
Diesel ATE	Claros45kt	36000	17000

Tabela 7: Volume movimentado a partir de Guamaré.

Pela análise conjunta dos dados das Tabelas 7 e 8, verifica-se que, após ter otimizado a distribuição da oferta de Diesel ATE de Tramandaí, o modelo utiliza

a oferta de Guamaré para complementar o saldo de mercado a ser entregue em Manaus e Itacoatiara.

A próxima fonte de suprimento a ser analisada será Santos, e o volume movimentado a partir deste porto é apresentado na Tabela 8.

Y S... Level		Y i		Santos		
		j				
		Fortaleza	Cabedelo	Suape	Vitória	Tubarão
v	p					
Claros18kt	Gasolina				18500	18500
Claros30kt	Gasolina	62780	64000		40950	38690
	Diesel s500	1220			31000	87000
Claros45kt	Gasolina			73220		
	Diesel s500			10780		

Tabela 8: Volume movimentado a partir de Santos.

A análise dos dados acima permite concluir que os pólos atendidos pela oferta de Santos são alocados em função da menor distância. Após atender integralmente o mercado de Gasolina e Diesel s500 de Tubarão, o modelo segue alocando produto para Vitória, Suape, Cabedelo e Fortaleza, exatamente na ordem crescente de distância, até esgotar todo o volume disponível. Além disso, novamente é indicado o compartilhamento de dois produtos em uma mesma viagem, neste caso Gasolina e Diesel s500 para Fortaleza e Suape, com o intuito de aproveitar a máxima capacidade do navio.

É importante observar que o fato de o porto de Santos poder operar as três classes de navios gera uma flexibilidade na escolha dos destinos, facilitando, assim, a alocação do produto disponível em função da menor distância. O mesmo tipo de indicação é verificado na movimentação proveniente de São Sebastião, conforme Tabela 9.

Y S... Level		Y i		São Sebastião					
		j							
		Manaus	Itacoatiara	Suape	Vitória	Paranaguá	Rio Grande		
p	v								
Diesel s10	Claros30kt								60000
	Claros45kt					202000			50000
Diesel s500	Claros30kt	32000			24000				
	Claros45kt	42000	42000	50000					

Tabela 9: Volume movimentado a partir de São Sebastião.

Todo o volume de Diesel s10 fornecido por São Sebastião é utilizado para atendimento dos mercados mais próximos: Paranaguá e Rio Grande. Em relação ao Diesel s500, é preciso levar em consideração que as fontes de suprimento deste produto para Manaus e Itacoatiara, devido a especificações de qualidade, estão restritas a São Luis, São Sebastião e Tramandaí. Uma vez que grande parte do suprimento de Diesel s500 em São Luis é alocado para Belém, conforme explicado anteriormente, a próxima fonte alocada é São Sebastião, por ser a mais próxima. Uma vez supridos Manaus e Itacoatiara, o modelo retoma a lógica de atendimento em função da menor distância, alocando o volume remanescente de Diesel s500 proveniente de São Sebastião para Vitória e Suape.

Já para o caso do Rio de Janeiro a análise é simplificada, uma vez que este porto fornece somente dois produtos. A Nafta Petroquímica possui apenas Salvador como destino e a Gasolina de Alta Octanagem (Booster), devido a aspectos de qualidade, é direcionada somente para Manaus. Novamente o modelo minimiza a praça morta total, alocando um *Handsize* e um *Middle Range* para o atendimento de Manaus. A Tabela 10 contempla o volume movimentado a partir do Rio de Janeiro.

y	p	Manaus	Salvador
Claros30kt	Booster	54000	
Claros45kt	Nafta		246000
	Booster	78000	

Tabela 10: Volume movimentado a partir do Rio de Janeiro.

O próximo porto a ser analisado é Salvador. É importante observar que grande parte dos pólos consumidores próximos a este porto já foram atendidos parcialmente por outras origens, como Tramandaí, Santos e São Sebastião. Assim sendo, o modelo irá alocar a oferta de Salvador seguindo a lógica do porto mais próximo, porém atendendo a restrição de demanda, ou seja, entregando somente o volume necessário para complementar o mercado. Isto explica a fragmentação na distribuição da oferta em diversos portos, abrangendo uma grande distância geográfica que se estende de Maceió a Santana. Somente os mercados de Gasolina e Diesel s500 de Maceió, de Diesel s500 de Cabedelo e de *Booster* de Guamaré

são atendidos integralmente por Salvador. As movimentações provenientes deste porto estão presentes na Tabela 11.

Y S... Level		Y i		Salvador				
		j						
		Santana	Belém	Fortaleza	Guamaré	Cabedelo	Suape	Maceió
v	p							
Claros18kt	Gasolina		33590					
	Diesel s500						18400	
Claros30kt	Gasolina			83720		27800		44890
	Diesel s500			44280		57000		42500
Claros45kt	Booster				68000			
	Diesel s500	42820						

Tabela 11: Volume movimentado a partir de Salvador.

A análise referente a Suape é bastante simplificada. O suprimento de Diesel s10 existente neste porto refere-se a importações que aí chegam e são distribuídas, através de transbordos, para outros portos. Para fins de simplificação, foi considerado que o volume ofertado corresponde ao total da demanda de Guamaré, Salvador, Vitória e Tubarão. Sendo assim, o modelo atende integralmente estes mercados a partir de Suape. A Tabela 12 apresenta os respectivos volumes movimentados.

Y S... Level		Y i		Suape			
		j					
		Guamaré	Salvador	Vitória	Tubarão		
v	p						
Claros30kt	Diesel s10		52000	22000	26000		
Claros45kt	Diesel s10	56000					

Tabela 12: Volume movimentado a partir de Suape.

Até este momento, todos os portos até Guamaré, seguindo do sul para o norte, já tiveram sua demanda integralmente atendidas. Sendo assim, a oferta de São Luis - última fonte de suprimento a ser analisada - é distribuída somente entre Fortaleza e Manaus, conforme Tabela 13.

S... Level		São Luis			
v	p	Manaus	Itacoatiara	Belém	Fortaleza
Claros18kt	Gasolina			60310	
	QAV			24000	18500
	Diesel s10			76000	
	Diesel s500			98000	
Claros30kt	Gasolina		15320		400
	QAV				19500
	Diesel s10		18500		105000
	Diesel s500		24000		1500
Claros45kt	Diesel s10	112500			
	Diesel s500	13500			

Tabela 13: Volume movimentado a partir de São Luis.

A origem do volume disponível em São Luis, assim como no caso de Suape, provém de importações. A principal indicação do modelo em relação ao escoamento deste porto refere-se, conforme já mencionado, ao atendimento quase integral da demanda de todos os produtos de Belém através de navios *Small*. Verifica-se também a existência de viagens combinadas de dois ou mais produtos para todos os pólos supridos por São Luis.

O último resultado apresentado pelo modelo é o número total de navios de cada porte que deverá conter na frota para que todas as restrições sejam atendidas. Refere-se à variável de decisão  $z_v$ , e seu resultado está presente na Tabela 14.

Suffix	Level
Claros18kt	4
Claros30kt	9
Claros45kt	13

Tabela 14: Número total de navios de cada porte.

Na próxima seção alguns parâmetros como demanda e produção serão alterados para verificar o comportamento do modelo.

### 5.3 Análise de sensibilidade

Os dois principais parâmetros que influencia o dimensionamento de frota são a demanda e a produção. A análise de sensibilidade aqui proposta irá verificar o comportamento do modelo frente a alterações nestes dois parâmetros, e assim subsidiar uma análise mais robusta por parte do programador de navios.

#### 5.3.1 Análise da variabilidade da demanda

A avaliação de dados mercadológicos da PETROBRAS indicou a existência de uma variabilidade média mensal entre 1% e 2% nas demandas previstas e realizadas para todos os derivados claros, entre os meses de Agosto de 2013 e Julho de 2014. Como o intuito desta análise é verificar o comportamento do modelo em uma situação crítica de suprimento, os dados de demanda de todos os produtos foram elevados em 2%. Para que este incremento seja atendido, os dados de suprimento também serão acrescidos no mesmo patamar. Em situações reais de aumento de demanda, é necessário reduzir os estoques de refinarias e terminais para atender o mercado e, em casos extremos, faz-se necessário comprar uma carga de importação não prevista. Os resultados estão apresentados na Tabela 15.

Suffix	Level
v	
Claros18kt	3
Claros30kt	10
Claros45kt	13

Tabela 15: Número total de navios de cada porte considerando uma variação de 2% na demanda.

Para uma variabilidade de 2% na demanda, a frota dimensionada apresentou poucas alterações em relação à frota original. O modelo indica apenas

a necessidade de mais um *Handsize* e corta um *Small*. Portanto, a frota original é aderente a uma variação de mercado de 2% para todos os produtos.

No entanto, a variação média não representa adequadamente as variações extremas que podem ocorrer. Por exemplo, em Fevereiro de 2014, a variação entre o mercado previsto e realizado de Diesel (s10, s500 e ATE) foi de 4,9%, sendo esta a maior do período analisado. Como esse é o produto com maior volume movimentado, uma segunda sensibilidade foi realizada variando somente a demanda e o suprimento de Diesel em 5%. Os resultados estão na Tabela 16.

Suffix	Level
Claros18kt	5
Claros30kt	9
Claros45kt	13

Tabela 16: Número total de navios de cada porte considerando uma variação de 5% na demanda de Diesel.

Neste caso a variação na frota foi mínima, acrescentando-se apenas um navio *Small*. O modelo procura manter os mesmos arcos, ajustando o volume transportado de cada um dos produtos e a quantidade de viagens entre os nós. Portanto, a frota original está bem dimensionada caso ocorra um pico de demanda de Diesel.

### 5.3.2 Análise da variabilidade da produção

Paradas não programadas em unidades de produção das refinarias são os principais fatores para que a produção varie ao longo do tempo. Incêndios, acidentes, catástrofes naturais e falhas mecânicas são as principais origens destas paradas. A consequência geralmente é a parada de uma ou mais unidades de produção, afetando todo o perfil de processamento e produção da refinaria. Na análise de sensibilidade aqui proposta foi simulada uma parada de doze dias na

unidade de hidrotreatamento (HDT) da Refinaria Presidente Bernardes (RPBC), localizada em Cubatão – SP e interligada ao Terminal de Santos. Esta unidade é responsável pelo tratamento do Diesel com alto teor de enxofre produzido na refinaria, disponibilizando, então, o Diesel S500. Durante o período de doze dias a perda de produção deste produto seria de aproximadamente 50.000 m<sup>3</sup>. Para cobrir este déficit na oferta, foi considerado a importação do mesmo volume através de São Luis. Em situações reais, este é procedimento realizado. Ou seja, contrata-se uma importação emergencial para repor o volume de produção que será perdido em função da parada não programada. Para efeito de simplificação, as outras consequências desta parada, como o aumento na produção de outros produtos finais e intermediários, não foram levadas em consideração. Os resultados desta nova rodada do modelo estão na Tabela 17.

Suffix	Level
v	
Claros18kt	3
Claros30kt	8
Claros45kt	14

Tabela 17: Número total de navios de cada porte considerando uma redução na produção de Diesel s500 da RPBC.

Mais uma vez foram poucas as alterações no tamanho da frota. O modelo indica apenas os cortes de um navio *Small* e de um *Handsize*, e o acréscimo de um *Middle Range* em relação à frota dimensionada originalmente. Portanto, a frota original também é aderente à variação de produção aqui proposta.

A análise dos resultados desta sensibilidade mostrou que, uma vez que a oferta de Diesel s500 em Santos é reduzida, o modelo aloca São Sebastião para complementar o mercado de Vitória e Tubarão. Deste modo, o mercado de Manaus, ora atendido em parte por São Sebastião, agora é atendido pelo volume adicional fornecido por São Luis. Ou seja, o modelo se adequa e continua priorizando as movimentações entre os portos em função da menor distância.

## 5.4

### Considerações finais

Os dados da Tabela 14 são o resultado do dimensionamento de frota proposto por esta dissertação, e o seu custo total, durante o horizonte de planejamento, é de US\$ 44.672.258,00. Portanto, para os meses de Junho e Julho de 2014, esta é a quantidade mínima de navios necessária para atender a demanda de derivados claros da PETROBRAS. No entanto, é importante observar que este modelo tem como objetivo resolver um problema de transporte, onde a realidade foi modelada de maneira simplificada, o que pode eventualmente subestimar o tamanho da frota.

Seguindo o procedimento explicado na Seção 3.2, para o ano de 2014, a gerência de inteligência e eficiência do transporte marítimo dimensionou um total de dois navios *Small*, seis navios *Handsize* e vinte e três navios *Middle Range* para o atendimento da cabotagem de derivados claros.

Partindo da premissa que o programador de navios possui uma frota já dimensionada à disposição, o resultado apresentado na Tabela 15, após criteriosa avaliação, irá ajudá-lo a prever os momentos de ociosidade ou de alta utilização da frota. Assim sendo, nos períodos de ociosidade, o programador tem autonomia para alocar um ou mais navios no exterior, no intuito de carregar cargas compradas de importação. A grande vantagem desta sistemática é evitar o afretamento de um navio em *Voyage Charter Party* para realizar a mesma viagem, e com isso economizar milhares de dólares.