



**Joana Flor Neves Chaves**

**Gestão de Estoque de Petróleo:  
Estudo de Caso em uma refinaria brasileira**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Antônio Márcio Tavares Thomé  
Co-orientador: Prof. Marcelo Maciel Monteiro

Rio de Janeiro  
Setembro de 2018



**Joana Flor Neves Chaves**

**Gestão de Estoque de Petróleo: Estudo de Caso em uma  
refinaria brasileira.**

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

**Prof. Antônio Márcio Tavares Thomé**

Presidente e Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Marcelo Maciel Monteiro**

Co-orientador

UFF

**Profa. Adriana Leiras**

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Paulo Soares Alves Cunha**

Petróleo Brasileiro – Rio de Janeiro - Matriz

**Prof. Márcio da Silveira Carvalho**

Coordenador (a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de setembro de 2018.

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

### **Joana Flor Neves Chaves**

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (2006). Pós-graduada em Processamento de Petróleo pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro, em parceria com a Universidade Petrobras (2009). É funcionária da Petrobras desde 2008, e atua como engenheira de processamento na área de Planejamento Operacional da Logística de Refino e Gás Natural.

#### Ficha Catalográfica

Chaves, Joana Flor Neves

Gestão de estoque de petróleo: Estudo de Caso em uma refinaria brasileira / Joana Flor Neves Chaves; orientador: Antônio Márcio Tavares Thomé; co-orientador: Marcelo Maciel Monteiro. – 2018.

85 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2018.

Inclui bibliografia

1. Estoque de segurança. 2. Gestão de estoque. 3. Custo de estoque. 4. Petróleo. 5. Refinaria. I. Thomé, Antônio Marcio Tavares. II. Monteiro, Marcelo Maciel. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

## Agradecimentos

À minha mãe e à tia Bel, pelo amor e suporte incondicionais.

Ao meu marido Gabriel, minha fonte de inspiração e motivação.

À Adriana Ito, responsável pelo meu ingresso e imprescindível na minha permanência neste curso de mestrado, pela amizade e companheirismo.

À Maria Quitéria, pelo carinho e alegria infindáveis.

Ao meu orientador, Prof. Márcio Thomé, pelas críticas, sugestões e pela oportunidade de aperfeiçoamento e progresso nesta dissertação.

Ao meu co-orientador, Marcelo Maciel, pela disponibilidade, pela prontidão e pelo estímulo neste trabalho.

À Petrobras, pelo patrocínio e oportunidade concedida.

Ao meu gerente, Paulo Salgado, pelo incentivo e pela confiança na elaboração deste trabalho.

Aos colegas da PO, pelo apoio, compreensão e colaboração na condução desta dissertação.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram e me incentivaram para a conclusão deste trabalho.

## Resumo

Chaves, Joana Flor Neves; Thomé, Antonio Márcio Tavares (Orientador), Monteiro, Marcelo Maciel (Co-orientador). **Gestão de Estoque de Petróleo: Estudo de Caso em uma refinaria brasileira**. Rio de Janeiro, 2018. 85p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Os custos associados à estocagem de produto se sobressaem dentre os custos logísticos de uma cadeia de suprimentos. O gerenciamento de estoques de forma estruturada, analítica e criteriosa permite a redução desses custos sem que haja consequências indesejadas, como perda de vendas ou descontinuidades operacionais. Esta dissertação aborda um dos pontos críticos enfrentados pelo gerenciamento de inventário: a dificuldade de mensurar o custo de falta de estoques. Seu principal objetivo é a determinação do nível de serviço e do estoque de segurança de petróleo a ser mantido em uma de suas refinarias, de forma a garantir a programação prevista, aplicando métodos propostos na literatura. Uma metodologia de cálculo de estoque de segurança baseado no nível de serviço é sugerida e um estudo de caso é aplicado a uma petrolífera brasileira. Se adotados, os níveis de estoque propostos teriam proporcionado um corte de custos associados a estoques de 15% nos anos de 2015 e 2016. O presente trabalho se destaca pela proposta de definição de custo de falta de estoque de matéria prima relacionada à ausência de otimização do planejamento da cadeia de suprimentos e sua determinação baseada em dados históricos operacionais registrados por uma grande companhia do setor do petróleo e gás, facilitando a avaliação desse custo no meio corporativo. Assim, pode-se dizer que este estudo estabelece uma conexão entre a gestão de inventário, importante aspecto do planejamento da cadeia de suprimentos e sua operacionalização, verificando um possível ganho financeiro para a empresa.

## Palavras-chave

Estoque de segurança; gestão de estoque; custos de estoque; petróleo; refinaria.

## Abstract

Chaves, Joana Flor Neves; Thomé, Antonio Márcio Tavares (Advisor), Monteiro, Marcelo Maciel (Co-advisor). **Petroleum inventory management: Case study in a Brazilian refinery**. Rio de Janeiro, 2018. 85p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Inventory costs are the one of highest supply chain`s logistics costs. In order to reduce these costs avoiding inconvenient consequences, such as lost sales and operational break off, it is necessary to reach for an analytical and structured inventory management. This dissertation presents a method of safety stock level definition based on carrying and shortage costs, as well as a case study applied in a Brazilian oil and gas company and identifies its practical monetary gain. If employed, the proposed safety stock level would provide 15% of inventory cost reduction in 2015 and 2016. The main goal of this report is to establish the service level and the safety stock to ensure the expected schedule, using methods from the literature review. As shortage cost`s measuring is a complex task, this work`s highlight is the definition of shortage cost as a planning process lack of optimization which allows to obtain it based on company`s operational data base, establishing a connection between inventory management, an important element of supply chain planning, and inventory operation.

## Keywords

Safety stock; inventory management; inventory costs; petroleum, refinery.

## Sumário

1	Introdução	10
1.1.	Objetivos	12
1.2.	Estrutura do trabalho	14
2	Referencial Teórico	15
2.1.	Estoques: Definições e Conceitos	15
2.2.1.	Estoque de Segurança e Nível de Serviço	18
2.2.	Políticas de Reposição/Controle de Estoques	25
2.3.	Custos Associados a Estoques	28
3	Metodologia	32
3.1.	Estudo de Caso	32
3.2.	Métodos de Cálculo	40
4	Estudo de Caso	42
4.1.	Contextualização sobre a Empresa	42
4.1.1.	O Processo de Gestão da Cadeia de Suprimento	44
4.1.2.	Custos Associados a Estoque de Petróleo	50
4.2.	A Unidade de Análise	52
4.2.1.	O Processo de Reposição de Estoque	52
4.2.2.	A Cadeia de Suprimento	56
4.3.	Resultados	58
4.3.1.	Cálculo do Estoque de Segurança	58
4.3.2.	Cálculo do Custo de Manutenção do Estoque	61
4.3.3.	Custo de Falta de Estoque	64
4.3.4.	Cálculo do Custo de Aquisição de Estoque	69
4.3.5.	Cálculo do Custo Total de Estoque	71
4.4.	Análise dos resultados	71
5	Conclusão	74
	Referências Bibliográficas	76
	Apêndice A	80
	Protocolo	80
	1 Plano de Fundo	80
	2 Desenvolvimento	81
	3 Coleta de Dados	81
	4 Análise e Validade de Dados	82
	5 Relatório	82
	Apêndice B	84
	Formulação matemática do Sistema de Alívio de Plataformas (SOAP)	84

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Políticas de Estoque.....	26
Tabela 2: Artigos que abordam VMI na indústria química e de óleo e gás. ....	27
Tabela 3: Resultado de busca por artigo.....	34
Tabela 4: Táticas do estudo de caso para quatro testes de projeto. ....	36
Tabela 5: Estoques de segurança calculados a partir de diferentes níveis de serviço.....	60
Tabela 6: Estoques médios calculados a partir de diferentes níveis de serviço ....	62
Tabela 7: Níveis médios, mínimos e máximos de estoque e o número de registros de falta realizados por ano e custo de manutenção dos níveis de estoque praticados.....	67
Tabela 8: Volume anual de óleo transportado para o Terminal. ....	70
Tabela 9: Custo de Aquisição por ano.....	71
Tabela 10: Custos Totais de Estoque por ano.....	71

## Lista de Figuras

Figura 1: Dinâmica do comportamento do nível de estoque ao longo do tempo..	19
Figura 2: Curva de estoque para uma demanda determinística e um lead time variável. ....	21
Figura 3: Fluxo de Informação e Logística no modelo VMI.....	27
Figura 4: Condução de Estudo de Caso.....	33
Figura 5: Organograma simplificado da Petrobras, com ênfase nas áreas afins do objeto de estudo. ....	43
Figura 6: Desenho esquemático do Processo de Gestão da Cadeia de Suprimento. ....	45
Figura 7: Rotina de elaboração do Plano do Abastecimento.....	47
Figura 8: Desenho esquemático da Cadeia de Suprimentos.....	57
Figura 9: Histograma de valores de lead time. ....	59
Figura 10: Nível de Serviço x Estoque de Segurança. ....	61
Figura 11: Estoque Médio x Nível de Serviço. ....	63
Figura 12: Custo de manutenção de estoque de petróleo anual em função do nível de serviço. ....	64
Figura 13: Ciclo de estoque de petróleo e registros de ocorrência de falta. ....	66
Figura 14: Custo de falta por ano (mil US\$). ....	68
Figura 15: Custo Unitário de Transporte Marítimo (US\$/m <sup>3</sup> ).....	70

## Introdução

Desde meados dos anos 80, os benefícios estratégicos de um gerenciamento adequado do inventário e do planejamento e programação de produção no meio industrial se tornaram evidentes. De fato, o gerenciamento de estoques pode inclusive vir a ser uma questão de vida ou morte, se tomarmos como exemplo o estoque de sangue de um hospital ou de combustível de aeronaves em operações de guerra.

A partir de então, empresas têm investido em maior eficácia e eficiência de sua cadeia de suprimentos e na coordenação de suas cadeias com de outras empresas. Dois importantes pontos de incerteza de uma rede logística são o tempo de entrega de materiais ou componentes e a previsão de demanda, já que ambos estão sujeitos à inconstância de seus fornecedores e clientes. Desta forma, ao invés de incidir sobre dados desconhecidos e variáveis, as empresas investiram no compartilhamento de informações com seus mediadores, reduzindo significativamente esta variabilidade (Silver et al., 2017).

Dentre os custos logísticos de uma cadeia de suprimentos, pode-se destacar o custo de estocagem de produto, tanto de matéria-prima, quanto de produto final, como um dos mais expressivos e seu gerenciamento deve ser preciso e continuamente aprimorado, de forma a não comprometer a lucratividade e a competitividade da empresa. Aberdeen Group (2006) recomenda em seu relatório uma série de estratégias que contribuem para a obtenção de excelência em gestão de estoques, como a avaliação frequente da gestão estratégica da empresa, o desenvolvimento de uma otimização integrada da cadeia de suprimentos, a segmentação de clientes e uma previsão de demanda específica para cada segmento, a construção de uma relação colaborativa com os fornecedores, a gestão do inventário em trânsito ao longo da cadeia e por fim, a busca por gestão de serviços capaz de superar obstáculos inerentes ao processo de implementação de tecnologias de gerenciamento de inventário.

Os níveis de estoque têm um importante papel nos ciclos econômicos. Em um momento de expansão econômica e otimismo há uma tendência no aumento

de produção de manufaturas, para suprir a demanda crescente. Porém, se houver um excesso de otimismo e a expectativa superar a demanda real ocorrerá um excesso de bens disponíveis no mercado, elevando os níveis de estoque. Os produtores passam então a cortar a produção, fazendo com que a taxa de vendas exceda à taxa de produção. O desinvestimento em inventários cria uma recessão, na qual produção, preços e lucros sofrem uma queda e provocam desempregos. Com o tempo, uma recuperação econômica é gerada, reduzindo a taxa de redução de inventário. Prevendo uma recuperação dos preços, um gerenciamento adequado deve lentamente expandir suas operações ainda enquanto os preços estão baixos. (Silver et al., 2017).

A manutenção de estoques implica em imobilizar, na forma de estoque físico, uma verba que poderia ser utilizada no custeio das operações da companhia ou até mesmo em investimentos. Contudo, existem razões para que a manutenção de estoques seja atrativa do ponto de vista financeiro e estratégico, como melhoria do nível de serviço oferecido, que pode vir a fazer a diferença entre continuar ou não no mercado, ganhos na escala de produção, economias de escala nas compras e no transporte, angariando menores preços e fretes e proteção contra alterações nos preços, contra oscilações na demanda ou no tempo de ressuprimento, bem como proteção contra contingências (Ballou, 2006).

Estabelecer o nível de estoque é, no entanto, apenas uma parte do problema. O escopo mais amplo passa por balancear de forma adequada os estoques de forma a minimizar o custo total, cujos componentes são os custos de manutenção de estoques, o custo relacionado à falta de estoques e os custos de aquisição (Silver et al., 2017).

Um exemplo de aplicação de gestão de estoque de segurança foi apresentado por Aberdeen Group (2006), em seu relatório de estratégias para gerenciamento de estoques. Conforme relatado, a Castrol, produtora líder global de óleo lubrificante automotivo enfrentou inventário em excesso e baixa acurácia nas previsões de venda. Produtos com grande saída tinham seus estoques esgotados, enquanto os de baixa saída acumulavam nos pontos de vendas e armazéns. Estoques de segurança eram determinados com base na experiência pessoal do responsável. Tendo em vista este crítico cenário, o departamento de Planejamento de Vendas e Operações (S&OP) implementou uma gestão de

inventário multi-elo. A solução reduziu os níveis de estoque em 35 %, sendo 20% no ano de implementação e o restante no ano seguinte. O nível de serviço, todavia, teve um acréscimo total de 9%.

A indústria do petróleo é responsável pela circulação de bilhões de litros de petróleo e de seus derivados diariamente ao redor do mundo. Os grandes volumes movimentados neste processo e os elevados valores agregados dos insumos e produtos fazem com que a ordem dos custos envolvidos seja exorbitante, justificando a necessidade de gerenciamento dos custos logísticos consequentes destas operações.

Dada a importância de se avaliar o *trade-off* associado à imobilização de recursos financeiros como estoque, este trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia de cálculo de inventário em um elo de uma cadeia de suprimento de uma indústria petrolífera, que poderia ser uma refinaria, um terminal terrestre ou um terminal marítimo, de forma reduzir o custo total de estoque de matéria-prima, com uma aplicação do modelo proposto.

Se adotados, os níveis de estoque propostos teriam proporcionado um corte de custos associados a estoques de 15% nos anos de 2015 e 2016.

O estudo tem como foco o processo de reposição de estoques em uma cadeia de suprimento linear composta por uma refinaria e um terminal. Esse sistema constitui apenas parte do complexo de refinarias e terminais da empresa estudada, que se estende por todo o território nacional.

A presente dissertação não se propõe a avaliar os custos envolvidos em uma parada operacional ocasionada por falta de matéria-prima, focando apenas na perda financeira gerado por uma redução de carga da refinaria.

## 1.1

### Objetivos

A Petrobras tem uma grande preocupação com o gerenciamento de seus estoques de forma estruturada e que garanta o conhecimento do nível de estoque necessário para o atendimento de um determinado nível de serviço e qual o custo para manutenção destes níveis de estoque. Entretanto, atualmente o processo de

definição dos níveis de estoque utiliza uma abordagem simplista, não levando em consideração os custos associados a imobilização de inventário.

O objetivo da dissertação é determinar qual o nível de serviço e o estoque de segurança de petróleo a ser mantido em uma refinaria de forma a garantir a programação prevista, aplicando os métodos propostos na literatura e gerando um ganho financeiro para a Companhia.

Desta forma deseja-se primordialmente responder à seguinte pergunta de pesquisa:

- Qual o nível de estoque de segurança de matéria-prima a ser mantido em uma refinaria?

E adicionalmente:

- Como a literatura propõe o cálculo do nível de estoque de segurança e de seus custos associados?

- Como calcular o custo de falta de matéria-prima em uma refinaria?

- Existe ganho em se adotar o nível de estoque proposto em comparação com os níveis praticados atualmente na Petrobras? Qual seria este ganho?

Para atingir os objetivos propostos, foi necessário realizar uma pesquisa bibliográfica a fim de conhecer os modelos de cálculo de estoques propostos na literatura, avaliar quais os custos associados a estoques de matéria-prima em uma refinaria, e verificar qual o método utilizado pela Companhia na definição de estoque de segurança e quais os níveis praticados.

O presente trabalho desenvolve uma proposta de definição de custo de falta de estoque de matéria prima relacionada à ausência de otimização do planejamento da cadeia de suprimentos e sua determinação baseada em dados históricos operacionais registrados pela Companhia, ponto ainda não explorado pela literatura, facilitando a avaliação desse custo no meio corporativo. Pode-se conceituar ausência de otimização como qualquer condição diferente daquela resultante do processo de otimização do planejamento da cadeia de suprimentos.

Assim, é possível dizer que o esse estudo estabelece uma conexão entre a gestão de inventário, importante aspecto do planejamento da cadeia de suprimentos, e sua operacionalização.

## 1.2

### **Estrutura do trabalho**

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos, sendo este primeiro dedicado à introdução e à apresentação dos objetivos e perguntas de pesquisa. O Capítulo 2 discorre sobre os referenciais teóricos necessários para a fundamentação dos conceitos e modelos de gestão de estoques. O Capítulo 3 dedica-se a expor a metodologia de pesquisa utilizada. Dando continuidade, o Capítulo 4 expõe a elaboração do estudo de caso proposto, contextualizando e detalhando a unidade de análise, de forma a estabelecer uma ligação entre a revisão bibliográfica, a metodologia e os resultados auferidos. Com o intuito de finalizar o trabalho, o Capítulo 5 lista as conclusões obtidas e as propostas para trabalhos futuros.

## 2

### Referencial Teórico

Este capítulo disserta sobre os conceitos fundamentais relacionados a estoques e inventários e apresenta os modelos e políticas de gerenciamento de estoques encontrados na literatura.

#### 2.1

##### Estoques: Definições e Conceitos

Ballou (2006) define estoques como montantes de insumos, componentes, materiais em processo e produtos acabados que se acumulam nos elos de uma cadeia de suprimentos. Este acúmulo pode ocorrer de forma intencional, prevendo uma interrupção no fornecimento ou um aumento sazonal de demanda, por exemplo, ou não intencional, como a concentração de matéria-prima durante uma parada operacional de emergência.

De acordo com Bowersox et al. (2014), as principais funções dos estoques são:

- Especialização geográfica: permite o posicionamento geográfico em diversas unidades de produção e distribuição de uma empresa;
- Desacoplamento: permite a economia de escala dentro de uma única instalação e possibilita que cada processo opere com a máxima eficiência, ao invés de limitar a velocidade de todo o processo ao elo mais lento;
- Equilíbrio entre oferta/demanda: acomoda o tempo decorrido entre a disponibilidade de estoque (fabricação, crescimento ou extração) e o consumo;
- Proteção contra incertezas: acomoda a incerteza relacionada à demanda em excesso ou atrasos previstos ou inesperados no recebimento e no processamento dos produtos. Normalmente é chamada de estoque de segurança.

Moreira e Ihy (2006) apontam como um dos objetivos do gerenciamento de estoques, o equilíbrio entre a disponibilidade de produtos ou serviços ao consumidor e os custos de abastecimento necessários para um determinado grau dessa disponibilidade.

Crandall e Crandall (2003) descrevem aspectos relacionados excedente de estoques e examina porque nunca é possível se exterminar esse excesso.

Existem vários tipos de estoque ou inventário e diversas formas de classificá-los. Uma delas se dá em função de seu posicionamento na cadeia de suprimentos, como descrito a seguir.

Conforme conceituado por Silver et al. (2017), o Estoque em Mãos é designado pelo montante disponível fisicamente na instalação. Ele nunca pode ser negativo e é relevante que seu nível seja conhecido para determinar quanto da demanda pode ser suprida diretamente por ele.

O Estoque Líquido é o montante obtido pela subtração dos pedidos em atraso (*backorders*), do estoque em mãos. O nível do estoque líquido pode atingir valores negativos, no caso dos pedidos em atraso excederem a quantidade de produto disponível na instalação.

Ainda de acordo com Silver et al. (2017), a Posição de Estoque corresponde ao estoque em mãos acrescido do estoque em trânsito (estoque já pedido, mas ainda não recebido) descontando o estoque comprometido e os pedidos em atraso. O estoque comprometido corresponde à parcela que por ventura não possa ser aproveitada no curto prazo.

Outro exemplo de qualificação de estoques é por estágio de processamento em que o produto se encontra, isto é, pode-se ter um estoque de matéria-prima, de produto intermediário e de produto acabado, que Waller e Esper (2014) conceituam da seguinte forma:

Estoque de Matéria-Prima é o inventário estocado para a produção. O esgotamento deste estoque tem um alto custo associado, uma vez que implica na parada de toda a linha de produção. Além disso, o inventário de matéria-prima é relativamente menos custoso que o de produtos acabados;

Estoque de Produto Intermediário é o inventário de produto que está sendo transformado em produto acabado, ou seja, de um produto em processamento, de

forma que, caso haja uma falha de equipamento, não seja necessária a parada de toda a planta;

Estoque de Produto Acabado é o inventário de produto em sua forma final, isto é, pronto para sua comercialização. Devido ao seu valor agregado, um produto acabado é mais caro de se estocar que um produto intermediário que, por sua vez, tem seu custo de estoque mais elevado que o custo de estoque de matéria-prima. Além disso, uma vez estocado o produto pode se deteriorar e tornar-se obsoleto, ou pode até mesmo ser roubado. Isto pode ocorrer com qualquer tipo de inventário, mas é mais provável que se roube um produto acabado, pois já se encontra pronto para a venda.

Também é possível categorizar estoques baseando-se em seu papel na cadeia de suprimentos. Silver et al (2017) definiram principalmente os seguintes tipos:

Estoque em Trânsito: consiste no volume de produto mobilizado em dutos, navios e/ou outros modais de transporte, entre elos do sistema de distribuição ou ainda entre unidades de processo da planta;

Estoque de Ciclo ou Cíclico: é o resultado do reabastecimento em bateladas, ao invés de contínuo. O montante de inventário disponível, em qualquer momento, que seja resultado do recebimento de produto em bateladas, é denominado estoque cíclico. O reabastecimento em bateladas gera economia de escala, reduzindo preços e fretes. Além disso, frequentemente não seria possível realizar um reabastecimento contínuo por restrições físicas e de processo. O estoque cíclico disponível depende diretamente da frequência com a qual o reabastecimento é feito. O gerenciamento de quanto reabastecer e quando deve ocorrer o reabastecimento é um *trade-off* entre o custo do suprimento e o custo de manutenção do estoque em mãos;

O estoque acumulado em avanço na expectativa de um pico de vendas é denominado Estoque de Antecipação. Quando a demanda é consistentemente inferior à capacidade de produção durante alguns períodos do ano, a formação de um estoque de antecipação para uso nos meses de excesso de demanda pode apresentar boa rentabilidade.

Jaffe e Soligo (2002) definem o Estoque Especulativo como aquele que é comprado antes de ser necessário com a finalidade de proteger uma operação

cambial, usufruir de algum desconto ou se resguardar contra algum problema na produção.

Outro importante estoque determinado é o Estoque Morto ou Obsoleto, que se refere à parte do estoque que se deteriora, perdendo maior parte ou todo seu valor (Emsermann e Simon, 2007).

Por ser o alvo de estudo desta dissertação, o Estoque de Segurança será tratado em um subitem à parte, visando não só conceituar este tipo de inventário, mas estabelecer uma importante relação com o nível de serviço desejado.

### 2.1.1

#### **Estoque de Segurança e Nível de Serviço**

Conforme conceituado por Radasanu (2016), estoque de segurança é a parte do inventário que previne a falta de produto, isto é, um *stock out*. Entretanto, o objetivo do estoque de segurança não é eliminar por completo as ocorrências de *stock out*, e sim a sua maioria.

O estoque de segurança deve funcionar como um amortecedor, minimizando os impactos de desvios ocorridos, tais como variação no suprimento de matéria-prima (quando o tempo de entrega – *lead time* - é variável ou até mesmo quando a qualidade do produto recebido não é satisfatória) e incerteza na demanda ou falta de acurácia na previsão de demanda.

A Figura 1 mostra esquematicamente o comportamento do estoque ao longo do tempo. É possível verificar que quanto maior o tamanho do lote (Q), menor a frequência entre as reposições, para uma demanda constante. Em contrapartida, o ponto de ressuprimento e o estoque de segurança estão relacionados ao risco de falta de produto (*stock out*).

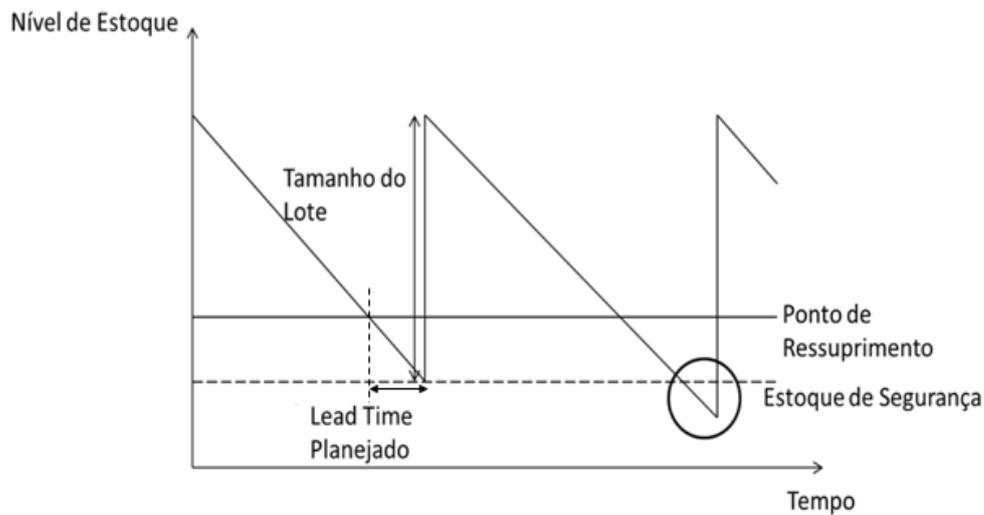


Figura 1: Dinâmica do comportamento do nível de estoque ao longo do tempo.

Fonte: Elaboração Própria.

Pode-se observar que na ocorrência de um *lead time* maior do que o planejado, ou seja, ocorrência de um atraso na entrega do lote de reposição, o nível de estoque cai a um patamar abaixo do esperado, consumindo então parte do estoque de segurança.

Da mesma maneira, se eventualmente a demanda do período entre o ponto de ressuprimento e o efetivo reabastecimento do sistema for maior que a projetada, o efeito também será notado. Fica nítida, assim, a razão pela qual se deve conservar um estoque de segurança.

Silver et al. (2017) trazem diferentes formas calcular estoque de segurança. A primeira é uma abordagem simplista, em que o estoque de segurança é obtido pela aplicação de um fator de segurança sobre o desvio padrão da demanda no período de um ciclo. No meio operacional ainda é frequente a utilização de níveis de estoque de segurança empíricos, baseados na análise intuitiva da operação, ou ainda a utilização de um percentual do estoque de ciclo aproximado de 10 ou 20%, como é mencionado por King (2011) e por Radasanu (2016).

Uma abordagem matemática para o tratamento do estoque de segurança, no entanto, não apenas gera um embasamento teórico dos níveis de estoques empregados, como contrabalança a maximização do nível de serviço e a minimização dos custos de inventário.

Assim sendo, outra maneira definida por Silver et al. (2017) para cálculo do estoque de segurança é pela minimização dos custos associados a estoque, tendo como base um *trade-off* entre o custo do volume imobilizado, o custo da quantidade pedida por ciclo e o custo que uma eventual falta de produto poderia causar. Os custos associados a estoque e o equilíbrio entre eles serão detalhados em uma seção mais adiante.

Também é possível determinar o nível de estoque de segurança em função do nível de serviço pretendido.

Em termos de gerenciamento de estoque, o nível de serviço pode ser definido como a probabilidade de não ocorrer um *stock out* durante o ciclo de ressuprimento, ou a probabilidade de não ocorrer perda de vendas por falta de produto.

A meta de nível de serviço pode ser definida como o *trade-off* entre o custo do inventário e o custo de falta de estoque (*stock out*).

Para elaboração deste trabalho, foi aplicado o cálculo de estoque de segurança baseado em nível de serviço. Nesta dissertação, o custo de falta foi obtido pelo processo de gerenciamento da cadeia de suprimento e não calculado em função de parâmetros de reposição de estoque, como sugerido por Silver et al. (2017). A partir de análise do processo de reposição de estoque da Companhia e dos dados coletados, a relação mais direta percebida entre o custo de falta e os níveis de estoque praticados se dá na observação da frequência de ocorrência de *stock outs*, ou seja, no nível de serviço resultante. Assim, parece adequado que o estoque de segurança seja pautado no nível de serviço e então realizado um *trade-off* entre o custo de manutenção deste inventário com seu custo de falta.

Uma forma de se calcular o nível de serviço, de acordo com Radasanu (2016), encontra-se exposta a seguir:

$$\text{Nível de Serviço} = \frac{\text{pedidos entregues a tempo}}{\text{demanda total}} \quad (1)$$

De forma análoga, o nível de serviço para um período de *stock out* pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Nível de Serviço} = \frac{\text{dias sem ocorrência de falta}}{\text{total de dias do período}} \quad (2)$$

As questões fundamentais quando se fala em modelos de gerenciamento de estoques são a quantidade ótima que deve ser suprida em uma operação de reposição pelos custos mais atrativos, um *scheduling* ótimo de ressuprimento e um estoque de segurança adequado para o nível de serviço pretendido (Korponai et al., 2017).

Como apontado por Korponai et al. (2017), em uma análise contínua, o nível de inventário é monitorado permanentemente. Toda vez que o nível de estoque disponível cai abaixo de um valor pré-definido, um pedido de ressuprimento é feito. A quantidade pedida é sempre a mesma e é aquela que minimiza os custos totais de gerenciamento de estoque. O tempo de reposição não é determinístico, isto é, ele pode variar nas duas direções, como pode ser visto na Figura 2:

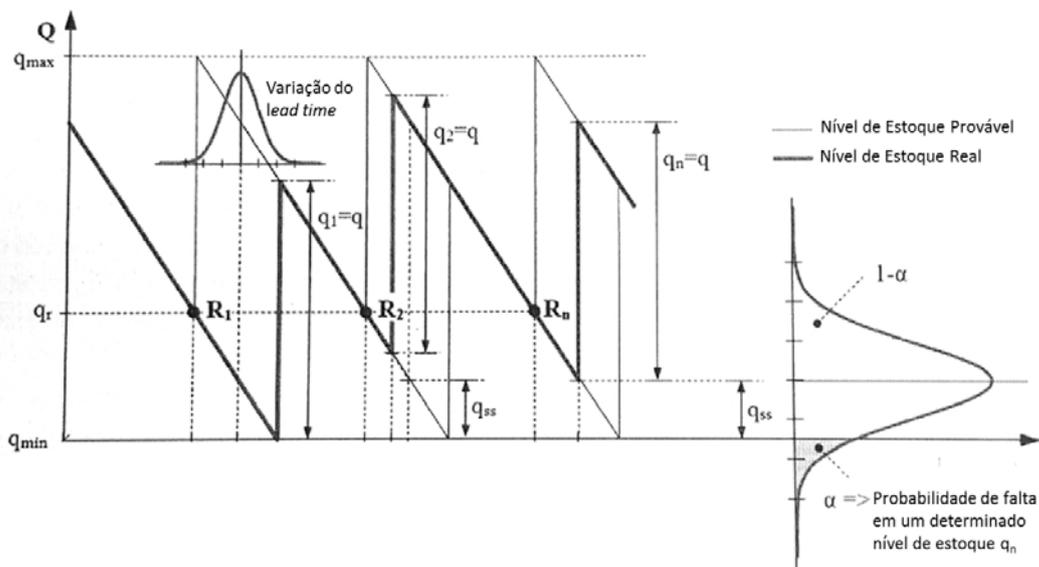


Figura 2: Curva de estoque para uma demanda determinística e um lead time variável.

Fonte: Korponai et al. (2017) adaptado.

Analisando a Figura 2, é possível perceber que o nível de estoque pode variar entre o nível máximo ( $q_{\max}$ ), que é equivalente ao nível no ponto de ressuprimento ( $q_r$ ), mais o lote de reposição ( $q$ ), e o nível mínimo ( $q_{\min}$ ), quando ocorre a falta do produto. É planejado que o nível de estoque no início do ressuprimento seja igual ao estoque de segurança ( $q_{ss}$ ). Entretanto, quando há variação do *lead time*, mesmo considerando que o tamanho de lote recebido será

sempre o mesmo ( $q_1=q_2=q_n=q$ ), pode ocorrer um adiantamento ou um atraso da chegada do lote, consumindo parcial ou totalmente o  $q_{ss}$ , podendo chegar próximo ao  $q_{max}$  (no caso de adiantamento) ou ao  $q_{min}$  (no caso de um atraso). Considerando que a variação do *lead time* segue uma distribuição normal para tempos médios de variação, o nível mínimo de estoque ( $q_{min}$ ) não será atingido. No entanto, para variações maiores que a média, a probabilidade ( $\alpha$ ) de atingir o nível mínimo passa a existir. Assim, pode-se perceber que esta probabilidade ( $\alpha$ ), isto é, a probabilidade de falta, está relacionada à variabilidade do *lead time*.

Uma vez que a acurácia do tempo de suprimento tem caráter estocástico, o real momento de reposição pode ser determinado por variáveis randômicas. Se o nível de estoque tiver sido planejado apenas para atendimento da demanda durante o período entre ressuprimentos e, por algum motivo, houver atraso no recebimento de produto, o nível de inventário cairá à zero em algum momento antes da reposição, como já foi exposto anteriormente.

De forma conservativa, poderia se considerar um cálculo baseado em uma demanda e um *lead time* extremo, isto é, um estoque de segurança conservador poderia ser calculado pelo produto entre a máxima demanda e o máximo tempo entre ressuprimentos. Não é difícil perceber que esta fórmula conduziria a níveis de estoques elevados e a altos níveis de serviço. Deve-se enfatizar que, uma vez assumido o fato de que tanto a demanda quanto o *lead time* apresentam uma distribuição normal, o inventário adicional requerido para aumentar o nível de serviço tornar-se-á progressivamente maior à medida que se pretende alcançar níveis de serviço muito altos.

Desta maneira, a partir da consideração de que a demanda está normalmente distribuída durante o tempo de reposição do estoque, o método de cálculo padrão pode ser o produto entre um fator de segurança e o tempo médio entre ressuprimentos.

O fator de segurança está ligado a um fator multiplicador do desvio padrão correspondente ao nível de serviço específico. Pode-se obter o fator de segurança a partir do percentual de nível de serviço desejado, utilizando uma tabela de distribuição normal.

A determinação do nível de serviço a ser utilizado é uma etapa de grande relevância do gerenciamento de estoques. De acordo com Silver et al. (2017), cada

produto deve ter seu fator de segurança avaliado de forma isolada dos demais, baseado em sua importância estratégica, margem de lucro e contribuição de vendas, evitando uma abordagem simplista.

King (2011) propõem que, supondo que apenas a demanda tem variabilidade, ou seja, considerando que o *lead time* é determinístico, o estoque de segurança necessário deve ser uma relação entre o desvio padrão da variação da demanda e o fator de segurança.

$$ES = Z_{SL} * \sqrt{\frac{\tau}{T_1}} * \sigma_d \quad (3)$$

Onde:

ES – estoque de segurança (m<sup>3</sup>);

$Z_{SL}$  – fator de segurança (obtido pela tabela de distribuição normal para o nível de serviço desejado);

$\tau$  – *lead time* total (dia);

$T_1$  – incremento de tempo usado para cálculo do desvio padrão da demanda (dia);

$\sigma_d$  – desvio padrão da demanda (m<sup>3</sup>/dia).

Para uma demanda determinística e um *lead time* variável, a um nível de serviço pré-definido, o autor propõe que:

$$ES = Z_{SL} * d_{\sigma_\tau} = Z_{SL} * d * \sigma_\tau \quad (4)$$

Onde:

$d_{\sigma_\tau}$  – demanda durante a variação do *lead time* em uma unidade de tempo (m<sup>3</sup>);

$\sigma_\tau$  – desvio padrão do *lead time* (dia).

Ainda segundo King (2011), nos casos onde existe variabilidade tanto na demanda quanto no *lead time* e essas variâncias são **independentes**, o estoque de segurança passa a ser mais baixo e é dado por:

$$ES = Z_{SL} * \sqrt{\left(\frac{\tau}{T_1} * \sigma_d^2\right) + (\sigma_\tau * d_{média})^2} \quad (5)$$

Já quando as variações são **dependentes**, o estoque de segurança pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$ES = Z_{SL} * \left( \sqrt{\frac{\tau}{T_1}} * \sigma_d \right) + Z_{SL} * (\sigma_\tau * d_{média}) \quad (6)$$

Conforme sugerido por King (2011), uma vez que o estoque de segurança é calculado, ele deve ser analisado periodicamente, para a verificação de sua utilização e do desempenho esperado para o nível de serviço.

Kunigami e Osório (2009) utilizaram um método que, como na equação 6 exposta, calcula o estoque de segurança em função do nível de serviço em um estudo de caso em uma montadora automobilística brasileira. Os novos níveis de estoque de segurança e ponto de pedido de uma determinada peça componente do motor calculados trouxeram um corte de gastos na ordem de 42% para um certo modelo de automóvel e 33% para outro modelo.

De forma análoga e com formulações semelhantes às expostas acima, Chopra e Meindl (2013) e Wanke (2011) apresentam uma proposta de determinação do nível ideal de disponibilidade do produto em função do nível de serviço.

Silver et al (2017) propõe outras formas de cálculo do estoque de segurança a partir do nível de serviço. A primeira delas é especificando a probabilidade de não haver um *stockout* e tem como fundamento a relação entre o desvio padrão da variação da demanda e o fator de segurança, como sugerido por King (2011), Wanke (2011) e Chopra e Meindl (2013). Outro método seria baseado na fração da demanda a ser atendida de maneira rotineira por produto a pronta entrega. A taxa de suprimento é a fração da demanda de um cliente é atendido sem pedidos atrasados ou perda de vendas. Além das formas descritas, o estoque de segurança pode ser obtido a partir da fração de tempo em que o estoque líquido é positivo e especificando o tempo entre os eventos de falta de estoque.

Song (2017) realiza um estudo de caso em que aplica um método de determinação de estoque de segurança a partir de opções reais em uma indústria de mineração. O autor conclui que a abordagem é adequada para a área de mineração, trazendo maior acurácia para os níveis de estoque praticados e maior lucro que os métodos convencionais, como modelagem multi-elo e determinação

do estoque de segurança em função da variabilidade da demanda e do tempo de entrega.

## 2.2

### **Políticas de Reposição/Controle de Estoques**

Axsäter (2006) explica que políticas de reposição de estoques tem como propósito a determinação de quando deve ser feito o pedido de reposição, denominado ponto de ressuprimento, e quanto se deve pedir, ou seja, qual o tamanho do lote a ser repostado (Q). Esta decisão deve ser tomada baseada na posição de estoque, na previsão de demanda e nos custos associados a estoque.

O controle de estoques monitora os níveis de inventário, rastreando acréscimos e diminuições. A frequência de análise destes níveis pode ser contínua ou periódica (Bowersox, 2014).

De acordo com Bowersox (2014), a gestão de estoques baseia-se em duas concepções básicas: a de que a demanda do cliente “puxa” o produto pelo canal de distribuição, e a de o estoque pode ser “empurrado”, isto é, alocado de forma antecipatória, baseada em uma previsão da demanda e disponibilidade do produto. Além destas formas, Ballou (2006) ainda considera a possibilidade de se adotar um reabastecimento colaborativo, como um método híbrido entre puxar e empurrar. Neste caso, os membros da cadeia responsáveis pelo fornecimento em conjunto com os responsáveis pelos pontos de estoque determinam as quantidades e o momento de reabastecimento, resultando em um reabastecimento mais econômico para o canal de suprimento.

De forma concisa, a Tabela 1 descreve as principais formas de se controlar os estoques de uma instalação.

Tabela 1: Políticas de Estoque.

TIPO		REGRAS DE DECISÃO
(s,Q)	Revisão Contínua, Lotes Fixos	Uma quantidade fixa Q é pedida sempre que a posição do estoque atingir ou ultrapassar o nível de reposição s.
(s,S)	Revisão Contínua, Lotes Variáveis	Uma quantidade variável é pedida sempre que a posição do estoque atingir ou ultrapassar o nível de reposição s, elevando o estoque a seu nível máximo, S. Conhecida também como política Min-Max, já que o nível de estoque sempre flutua entre s e S.
(R,S)	Revisão Periódica, Lotes Variáveis	A cada R periodos, ou seja, a cada revisão periódica, é pedida uma quantidade suficiente para atingir a posição de estoque S.
(R,s,S)	Revisão Periódica, Lotes Variáveis	A posição de estoque é verificada a cada periodo fixo R. É feito um pedido caso o ponto de ressuprimento estiver sido atingido ou ultrapassado. A quantidade pedida deve ser suficiente para se atingir o nível máximo, S.

Fonte: Silver et al. (2017) adaptado.

Entretanto, os métodos tradicionais de gerenciamento de estoque não enquadram uma cadeia de suprimentos típica de óleo e gás, uma vez que seus elos têm suas operações sincronizadas (Bao e Zhu, 2010). Outra característica comumente observada nesse tipo de cadeia de suprimentos é a interligação direta entre o supridor de matéria-prima e o consumidor, definindo-a como uma cadeia verticalmente integrada. De acordo com Chima (2007), a indústria do óleo e gás proporciona um excelente meio para integração verticalizada, uma vez que o *output* de um estágio da cadeia é o *input* para o estágio seguinte.

Conforme Dresner et al. (2005), VMI é um comércio colaborativo, em que o fornecedor é autorizado a gerenciar o inventário do consumidor, integrando a gestão de estoques desses dois agentes da cadeia de suprimentos. Coelho e Laporte (2013) colocam o fornecedor não somente responsável pela entrega do produto e sua roteirização, mas também pela determinação de quanto e quando entregar, ou seja, pelo tamanho do lote e o ponto de ressuprimento.

A Figura 3 ilustra duas cadeias de suprimento de empresas de varejo, a interação entre os atacadistas e os varejistas, o fluxo de informação e a logística no modelo VMI.

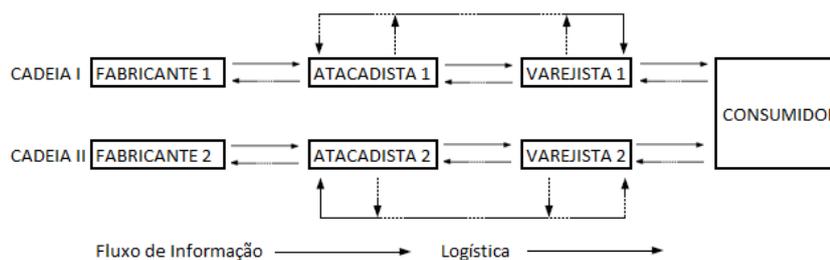


Figura 3: Fluxo de Informação e Logística no modelo VMI.

Fonte: Yan et al. (2017) adaptado

Diversos autores utilizam o método VMI no gerenciamento do processo de reposição de estoque na indústria de óleo e gás. A Tabela 2 dispõe artigos que abordam VMI no contexto da indústria química e de óleo e gás.

Tabela 2: Artigos que abordam VMI na indústria química e de óleo e gás.

AUTOR	TÍTULO	ANO	PALAVRAS-CHAVE
Bodaghi G., Jolai F., Rabbani M.	Evaluating supply chain flexibility under demand uncertainty with smoothing approach and VMI considerations	2018	Flexibility; measure; multi-period; smoothing algorithm; vendor managed inventory
Cóccola M.E., Méndez C.A., Dondo R.G.	Optimizing the inventorying and distribution of chemical fluids: An innovative nested column generation approach	2018	Incomplete branch-and-price; Inventory-routing-problem; Multi-commodity; Multi-compartment vehicles; Nested column generation
Taleizadeh A.A.	Vendor-managed inventory system with partial backordering for evaporating chemical raw material	2017	Deterioration; Evaporating product; Inventory; Partial backordering; Supply chain management
Edirisinghe N.C.P., James R.J.W.	Fleet routing position-based model for inventory pickup under production shutdown	2014	Inventory routing; Off-shore barge scheduling; Pickup and delivery optimization; Vendor-managed inventory
Bao S., Zhu M.	Study of the product oil inventory management model based on VMI	2010	Economic order cycle; Economic order quantit; Inventory control; Product oil; Vendor managed inventory
Bersani C., Minciardi R., Sacile R.	Economic and risk implications in the distribution of petrol products to service stations under retailer managed and vendor managed inventories	2010	Hazardous material transportation; Petrol product distribution; Retailer managed inventory; Vendor managed inventory

Fonte: Elaboração própria

Diante do exposto, verificou-se que para uma cadeia de suprimentos da indústria de óleo e gás, as estratégias de vendor-management inventory (VMI) parecem ser mais adequadas que os procedimentos tradicionais de controle de estoque.

## 2.3

### Custos Associados a Estoques

Na logística, nem sempre é possível que a demanda seja atendida imediatamente ou no momento previsto. Em alguns casos, a continuidade operacional da cadeia de suprimentos pode ser interrompida por um distúrbio em algum estágio, gerando inconvenientes tanto para o fornecedor quanto para o cliente. Em outros casos, pode ser que o planejamento estratégico da gestão de estoques preveja propositalmente o não atendimento de parte da demanda em função de uma eficiência econômica, isto é, pode ser que seja atrativo economicamente renunciar à demanda ou parte dela.

Conforme Korponai et al. (2017), o gerenciamento clássico de inventário otimiza os níveis de estoques em função de seu dispêndio. Isto é equivalente a dizer que o nível ótimo de estoque é aquele que implica no menor custo total possível.

Os custos associados ao gerenciamento de estoques podem ser diferenciados em três categorias, Custos de Aquisição, de Manutenção e de Falta de Estoque.

Custos de Aquisição são custos concernentes a gastos com a reposição de inventário. Conforme Ballou (2006), os custos relacionados à aquisição de mercadorias para a reposição dos estoques determinam as quantidades de reposição.

Segundo Waller e Esper (2014), os custos de aquisição podem ser fixos, em custo por pedido, ou variáveis, custo por unidade ou volume pedido. É evidente que quanto menor o tamanho dos pedidos, maior a frequência de pedidos, o que ocasionaria em um baixo custo de aquisição variável, mas um alto custo de aquisição fixo em contrapartida. De forma análoga, o inverso também pode ser dito.

Custos de Manutenção: estão relacionados às despesas pela acomodação física do inventário e do risco financeiro, relacionado ao custo de oportunidade do capital mobilizado, a que essa manutenção pode incorrer. Como exposto por Silver et al. (2017), estes custos compreendem os dispêndios com galpões ou parques de armazenamento, gastos com manuseio e monitoramento, seguros, obsolescência e deterioramento de produto devido ao tempo estocado e ao custo

de oportunidade mobilizado que poderia estar investido outras aplicações rentáveis. De forma convencional, o autor utiliza a seguinte forma de cálculo:

$$C_m = EM * r \quad (7)$$

Onde:

$C_m$  – Custo de Manutenção (\$/tempo);

$EM$  – Estoque médio ( $m^3$ );

$r$  – taxa de manutenção de estoque (\$/ $m^3$ /tempo);

Durante um ciclo de suprimento, o nível de estoque deve declinar entre o estoque máximo, ou seja, a soma do estoque de ciclo com o estoque de segurança e o mínimo, isto é, o estoque de segurança. Desta forma, o estoque médio pode ser definido como:

$$EM = \frac{(Q+ES)+ES}{2} = \frac{Q}{2} + ES \quad (8)$$

A taxa de manutenção de estoque está relacionada ao custo de oportunidade perdido pela mobilização do estoque, isto é, teoricamente falando, o retorno de capital que uma aplicação financeira poderia gerar caso este montante não estivesse mobilizado na forma de inventário. Portanto, a taxa de manutenção de estoque é o produto entre a taxa de capital média ponderada (weighted average capital cost - WACC), amplamente utilizada por empresas para avaliar a viabilidade econômica de projetos e o custo unitário real do produto. Logo:

$$r = WACC * C_{ur} \quad (9)$$

Onde:

WACC - taxa de capital média ponderada (%/tempo);

$C_{ur}$  - custo unitário real do produto (\$/ $m^3$ ).

De acordo com Ballou (2006), o custo de manutenção de estoques pode representar de 20 a 40% de seu valor anual.

Os Custos de Falta ocorrem quando um pedido não pode ser atendido devido a indisponibilidade de produto. Os principais tipos são os custos de venda perdida e os custos de pedidos atrasados.

O custo de venda perdida ocorre quando o cliente, face à indisponibilidade do produto, cancela a venda. O custo é o lucro que não veio a ser concretizado e pode chegar a ter efeito negativo em vendas futuras. Produtos com alternativas amplamente encontradas no mercado tendem a ter maior prejuízo com vendas perdidas.

Já o custo de pedidos atrasados ocorre quando a venda é apenas adiada, frente à falta de estoque para realizar a venda. Pedidos atrasados podem criar custos adicionais em termos operacionais e de vendas em matéria de processamento, além de custos não programados de transporte e manuseio quando estes pedidos não são atendidos através do canal de distribuição normal e podem acarretar, inclusive, multas contratuais.

Cada um desses custos pressupõe determinadas ações e, em decorrência da intangibilidade de sua natureza, seu cálculo exato é complexo (Ballou, 2006). Principalmente quando se trata de custo estoque por falta matéria-prima, pois perda de vendas não se dá de forma direta. É até possível que haja ocorrência de perda de vendas, mas, mesmo se houvesse uma parada geral operacional por falta completa de matéria-prima, ainda existiriam estoques de produtos intermediários que evitariam a interrupção do processo e estoques de produtos acabados, capazes de garantir o suprimento da demanda por um período de tempo. Assim, pode-se dizer que o custo de falta de matéria-prima está mais relacionado a uma consequente redução na taxa de produção do sistema, ou no máximo, a uma descontinuidade operacional que efetivamente à perda de vendas.

Como será elucidado posteriormente, a carga ótima da refinaria, isto é, a carga planejada, aquela que deve gerar um maior lucro para o sistema, é calculada mensalmente pelo ciclo de planejamento. Assim sendo, sabe-se que, se a refinaria operar com uma carga diferente desta, o lucro obtido será obrigatoriamente inferior ao planejado. Caso haja um atraso no recebimento de matéria-prima, a carga da refinaria deve ser reduzida até o reestabelecimento de fornecimento de óleo. Assim, torna-se plausível definir, para aplicação no estudo de caso proposto, o custo de falta como a diferença entre o ganho planejado de operação para o

ganho realizado. Essa redução de receita é referente à perda obtida pelo afastamento do ponto ótimo do sistema em função da redução de carga de uma determinada refinaria por falta de matéria-prima.

As três categorias de custos podem ser modificadas em detrimento uma das outras. O custo de manutenção cresce linearmente com o aumento do tamanho do lote enquanto o de aquisição aumenta com a frequência de reposições.

De maneira similar, à medida que o nível do estoque de segurança aumenta, há um aumento não linear do nível de serviço e um aumento linear do custo de manutenção. Em paralelo, há uma redução da probabilidade de falta e, por consequência, do custo de falta. Quanto menor o estoque de segurança mantido, maior a probabilidade de falta e, naturalmente, um maior custo de falta.

## 3

### Metodologia

#### 3.1

##### Estudo de Caso

De acordo com Berto e Nakano (2000), as abordagens de pesquisa são condutas que orientam o processo de investigação. Ou seja, são formas de aproximação e de enfoque do objeto de análise que facilitam a identificação dos tipos de pesquisa ou métodos apropriados para solucionar a questão estudada.

Ainda conforme a dupla de autores citada, as abordagens de pesquisa tradicionais, no campo de engenharia de produção, são as chamadas quantitativas. Sua natureza é empírica e baseiam-se em métodos lógicos e dedutivos, buscando explicar relações de causa/efeito e, através da generalização de resultados, possibilitar replicações. Neste tipo de pesquisa existe uma distância ou até ausência de contato entre o pesquisador e o objeto de estudo. Os tipos de pesquisa inerentes às abordagens quantitativas são os levantamentos (*surveys*), os estudos teórico-conceituais, os diagnósticos, as modelagens e simulações, que recriam artificialmente a realidade mediante dados quantitativos.

Em contrapartida, as pesquisas de natureza qualitativa buscam aproximar a teoria e os fatos, através da descrição e interpretação de episódios isolados ou únicos, privilegiando o conhecimento da relação entre contexto e ação (método indutivo). A proximidade e o contato do pesquisador com o objeto de análise propiciam a elaboração de relatos e depoimentos que privilegiam aspectos internos e particulares da situação. Nas abordagens qualitativas os tipos de pesquisa mais frequentes são: estudo de caso, observação participante, pesquisa participante e pesquisa ação (Berto e Nakano, 2000).

Yin (2009) traz a definição técnica de estudo de caso como sendo uma investigação empírica que pesquisa um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos.

Um framework para a condução de um estudo de caso proposto por Miguel e Souza (2012) está exposto na Figura 4:

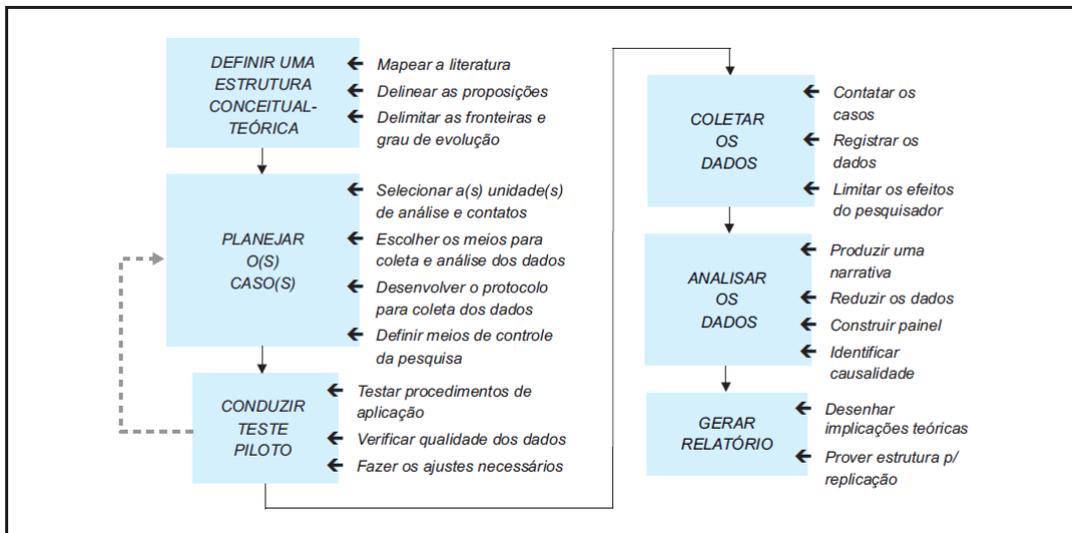


Figura 4: Condução de Estudo de Caso.

Fonte: Miguel e Souza (2012)

A presente dissertação procurou seguir a condução sugerida, com algumas adaptações, conforme o Protocolo desenvolvido e apresentado no Apêndice.

**Estrutura Conceitual Teórica:** o capítulo introdutório contextualiza o estudo e expõe as proposições, objetivos e escopo do trabalho, definindo o que exatamente está sendo buscado e a quais perguntas de pesquisas pretende-se responder. Nele é destacado que a determinação do nível de serviço e do estoque de segurança de petróleo de uma refinaria é o objetivo principal do estudo.

Limitou-se, então, o foco do estudo ao processo de reposição de estoques em uma cadeia de suprimento linear composta por uma refinaria e um terminal. Esse sistema constitui apenas parte do complexo de refinarias e terminais da empresa, que se estende por todo o território nacional.

A etapa seguinte, ainda com a finalidade de definir uma estrutura conceitual teórica, consistiu no mapeamento da literatura existente, construindo uma fundamentação teórica e consolidação dos conceitos que tangem o tema. Assim foi realizado um referencial bibliográfico sobre a conceituação de estoques, modelos de gerenciamento e suas estratégias.

Para tal, foram levantados, nas principais bases de dados para pesquisa, como Scopus, Science Direct e Springer, trabalhos já publicados sobre gestão e política de reposição de estoques, estoques de segurança, sobre estudos de caso que abordam gestão de estoques, bem como sua aplicação na indústria do petróleo. A Tabela 3 apresenta os resultados da busca de artigo por base.

Tabela 3: Resultado de busca por artigo.

	<b>Science Direct</b>	<b>Scopus</b>	<b>Springer Link</b>
"Safety stock"	3.174	1.271	3.313
"Safety stock" and "Petroleum"	110	6	144
"Safety stock" and "Petroleum" and "Refinery"	37	1	32
"Inventory management" and "Petroleum"	502	61	390
"Inventory management" and "Petroleum" and "Refinery"	172	26	110

Fonte: Elaboração própria.

A seleção dos artigos relevantes para o trabalho foi feita, primeiramente, avaliando-se o título dos artigos, procurando perceber as similaridades com o trabalho e adequação de conteúdo, bem como a data de publicação, dando preferência para os mais recentes. Uma primeira triagem selecionou, além dos documentos resultantes da busca mais refinada, isto é, aquelas houve combinação das palavras-chave “safety stock”, “petroleum” e “refinery”, trabalhos mais abrangentes sobre o tema, tendo como principal critério para inclusão/exclusão de artigos a identificação de definições dos conceitos fundamentais relacionados ao tema e de possíveis aplicações da teoria disposta. Após leitura dos resumos dos trabalhos de interesse, foram definidos aqueles que trariam uma maior contribuição, priorizando aqueles que tinham como tema “refinaria” e “estoque de segurança”. Assim, foram lidos em torno de 20 artigos e relatórios técnicos para realização do referencial teórico de pesquisa.

Também foram utilizados livros-texto mais abrangentes sobre o tema, tais como Ballou (2006), Bowersox et al. (2013) e Silver et al. (2017).

Adicionalmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para a definição do modelo de política de estoque VMI (Vendor Management Inventory) na base de dados Scopus. Para tal, foram utilizadas como palavras-chave “vendor managed inventory”, “vmi” e sua combinação com “oil” e “gas”, excluindo “PHYS”, “MEDI”, “BIOC”, “AGRI”, “EART”, “DENT”, “IMMU”, “NURS”, “PHAR”, “PSYC” e “VETE”. Foram obtidos 40 artigos e, após leitura dos resumos, foram selecionados 10 artigos para leitura completa visando extrair os conceitos fundamentais do modelo e buscando encontrar aplicações na indústria do óleo e gás e afins.

Ainda de acordo com Miguel e Souza (2012), a partir da busca bibliográfica e da revisão da literatura também é possível identificar lacunas onde a pesquisa pode se justificar, em termos de relevância, bem como possibilitar extrair os constructos. Constructos são construções mentais, que representam um conceito a ser verificado e é a partir desses constructos que as proposições podem ser então estabelecidas.

**Planejamento do Caso:** Com a finalidade de validar o método de cálculo de estoque de segurança escolhido, foram buscados estudos de caso que aplicaram uma metodologia análoga à utilizada no presente trabalho. Ademais, foi feita uma pesquisa de forma a apresentar estudos que propõem métodos alternativos ao selecionado e até mesmo métodos inovadores, a fim de explorar o que já foi e o que vem sendo testado no meio acadêmico, para então avaliar qual a prática mais adequada a ser posta em aplicação.

O primeiro passo para se iniciar a etapa de planejamento e projeto do caso é a definição da unidade de análise. Como orientação geral, a definição da unidade de análise (e, portanto, do caso) está relacionada à maneira como as questões iniciais da pesquisa foram definidas (YIN, 2009). De acordo com YIN (2009), uma mesma ideia inicial de estudo pode abranger diferentes unidades de análise e cada uma delas exige um projeto de pesquisa diferente e uma coleta de dados diversa.

Como colocado por Miguel e Souza (2012), o estudo de caso deve estar pautado na confiabilidade e na validade, ou seja, em critérios para julgar a qualidade de pesquisa.

Com esta finalidade, Yin (2009) sugere práticas para a realização de testes ao fazer estudos de caso, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4: Táticas do estudo de caso para quatro testes de projeto.

<b>TESTES</b>	<b>TÁTICA DO ESTUDO DE CASO</b>	<b>FASE DA PESQUISA NA QUAL A TÁTICA DEVE SER APLICADA</b>
Validade do Constructo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utiliza fontes múltiplas de evidências</li> <li>- estabelece encadeamento</li> <li>- o rascunho do relatório estudo de caso é revisado por informantes-chave</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>coleta de dados</li> <li>coleta de dados</li> <li>composição</li> </ul>
Validade Interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>- faz adequação ao padrão</li> <li>- faz construção da explanação</li> <li>- faz análise de séries temporais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>análise de dados</li> <li>análise de dados</li> <li>análise de dados</li> </ul>
Validade Externa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utiliza lógica de replicação em estudos de casos múltiplos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>projeto de pesquisa</li> </ul>
Confiabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utiliza protocolo de estudo de caso</li> <li>- desenvolve banco de dados para o estudo de caso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>coleta de dados</li> <li>coleta de dados</li> </ul>

Fonte: Yin (2009).

Como unidade de análise da presente dissertação, foi definido o processo de reposição de estoques.

De acordo com Yin (2009), para se garantir a validade do constructo devem-se utilizar múltiplas fontes de evidências ao se coletar os dados e estabelecer um encadeamento destas evidências. Para a coleta de informação sobre o processo, será feita busca em documentos e procedimentos, entrevistas com diversos empregados e observação participante, tornando possível uma triangulação da informação reunida.

A validade interna deve ser uma preocupação apenas de estudos explanatórios, não sendo aplicável em casos descritivos ou exploratórios. Seu objetivo é assegurar que os dados estudados não sofram influência de efeitos espúrios e inferências incorretas (Yin, 2009).

Segundo Yin (2009), os testes de validade externa têm a finalidade de verificar se as conclusões da pesquisa são generalizáveis. A quantidade de casos estudados (um único caso ou múltiplos casos) deve ser determinada, sendo que, se, por um lado, um estudo de caso único permite maior aprofundamento, por outro, a avaliação de apenas um caso apresenta uma limitação no grau de generalização quando comparado com múltiplos-casos (Miguel e Souza, 2012).

O presente estudo trata de um caso singular, uma vez que se propõe estudar o processo de reposição de estoque de apenas um produto (petróleo), exclusivamente em uma refinaria do parque de refino, de uma única empresa petrolífera.

A obra de Yin (2009) afirma que confiabilidade diz respeito à capacidade de replicação dos métodos adotados, atingindo resultados e chegando a conclusões semelhantes. Uma forma de se assegurar a confiabilidade é documentar fielmente os procedimentos adotados, primando pela transparência.

**Teste Piloto:** Visando uma avaliação preliminar, foram acessados bancos de dados da empresa e coletados dados históricos de carga diária da unidade de destilação da refinaria, nível de estoque de petróleo diário na refinaria e no terminal, volume de óleo diário recebido no terminal e expedido do terminal para a refinaria. Foram feitas análises gráficas a fim de identificar padrões e validar as premissas adotadas. Valores de estoque de segurança, custo de manutenção e de falta de estoque foram calculados, em caráter experimental, utilizando as equações apresentadas na bibliografia.

**Coleta de Dados:** Yin (2009) discute seis fontes de evidências principais, sendo elas: documentação, registros em arquivos, entrevistas, observação direta, observação participante e os artefatos físicos.

Nesta dissertação foram utilizadas quatro delas:

- Documentação: busca de documentos internos, relatórios, padrões e procedimentos;
- Registros em Arquivos: acesso a bancos de dados e ferramentas de capturas de dados;

- Entrevista: foram traçados perfis de entrevistados e realizadas consultas informais às equipes técnicas para obtenção de novas informações e certificação de informações e dados recolhidos e processos;
- Observação Participante: o observador participou dos eventos estudados, uma vez que trabalha como membro de uma das equipes envolvidas no processo.

Foram coletados, nos bancos de dados dos sistemas oficiais de controle da Petrobras, dados históricos de carga diária da unidade de destilação da refinaria, nível de estoque de petróleo diário na refinaria e no terminal, volume de óleo diário recebido no terminal e expedido do terminal para a refinaria, nos anos de 2015, 2016 e 2017. O ano de 2015 foi escolhido como inicial uma vez que até 2014 a empresa apresentava uma diretriz operacional de maximização de carga que não permitiria a avaliação do custo de carga em função da carga de destilação ótima da refinaria.

Adicionalmente, foram levantados os volumes diários de estoque do sistema e os registros de ocorrência de redução de carga devido a baixos níveis de estoque de óleo em função de dificuldades de atracação de navios no terminal, também em base de dados de sistemas oficiais da Petrobras. O sistema consultado tem como finalidade mapear os desvios entre a carga planejada e a realizada e dispõe da carga real das refinarias e das justificativas para o desempenho aquém do planejado. Dentre as justificativas apresentadas foram selecionadas aquelas cujo código era específico para redução de carga na refinaria em questão devido a baixos níveis de estoque de óleo, em função de dificuldades de atracação de navios no terminal.

Bases de dados geradas pela gerência de Acompanhamento Operacional foram consultadas para obter informações sobre o prejuízo mensal causado por uma eventual falta de estoque de óleo.

Além disso, foi necessário recolher informação sobre a Companhia e sobre as instalações estudadas e de como o processo de reposição de estoques é feito. Para tal, foi realizada uma pesquisa à rede interna da empresa e ao site externo, coletando arquivos, jornais eletrônicos, padrões e procedimentos internos.

Outra forma de coleta de informação foram consultas informais às equipes técnicas. À medida que surgiram questionamentos, foram traçados perfis de entrevistados com a finalidade de esclarecimentos dos pontos dúbios. Para elucidação sobre o processo de reposição de estoques, foram consultados três integrantes da gerência de Suprimento de Petróleo, sendo que dois deles são encarregados das atividades de programação de operações e o outro do planejamento de alocação das refinarias. Também se fez necessária uma troca de informações com um integrante da equipe lotada na programação de produção da refinaria, para obtenção e validação de dados como estoque de segurança praticado, procedimentos em caso de escassez de matéria-prima e capacidade útil de tancagem.

De acordo com Miguel e Souza (2012), a partir do conjunto de dados coletados, considerando múltiplas fontes de evidência, o pesquisador deve realizar uma narrativa geral do caso, selecionando aquilo que seja essencial e que tenha estreita ligação com os objetivos e constructos da pesquisa.

**Análise de Dados:** Ainda conforme o autor, após a coleta deve ser elaborado um resumo das evidências, identificando convergência e divergência entre suas fontes. Em um primeiro momento, pode ser elaborada uma explicação mais geral, seguida de uma análise mais detalhada e consistente, identificando padrões nos dados coletados, elucidando as evidências passíveis de generalização e levando, então, a conclusões lógicas embasadas nas diversas fontes de dados convergentes. Em paralelo, as conclusões devem ser comparadas com a teoria, com o objetivo de avaliar se a teoria pode explicar o fenômeno estudado em diferentes contextos. Com base em sua compreensão do fenômeno, o pesquisador pode verificar a literatura existente para fundamentar as evidências, tentando enquadrar os resultados na literatura vigente.

**Relatório:** Conforme Miguel e Souza (2012), o conjunto de todas as etapas descritas anteriormente deve ser sintetizado em um relatório de pesquisa. Considere-se, sempre, que os resultados devem estar relacionados à teoria, no caso a teoria aplicada ao processo de reposição de estoques, e não o inverso, possibilitando, inclusive, a geração de uma nova teoria.

Depois de finalizado, o relatório do estudo de caso será apresentado para as áreas participantes do processo de reposição de estoques da empresa estudada,

para avaliação de implementação do procedimento proposto, ainda que haja necessidade de adaptação.

## 3.2

### Métodos de Cálculo

O capítulo anterior apresenta fórmulas para cálculo do estoque de segurança que utilizam como dados de entrada a demanda e os tempos de reposição de estoques e seus respectivos desvios-padrão, além do nível de serviço desejado para o cálculo de um estoque de segurança eficiente, conforme exposto por King (2011).

Como mencionado anteriormente, foram coletados dados históricos de carga diária da unidade de destilação da refinaria, nível de estoque de petróleo diário na refinaria e no terminal, volume de óleo diário recebido no terminal e expedido do terminal para a refinaria, para um período de três anos.

Após análise da dependência entre as variâncias dos parâmetros, observou-se que variações no *lead time* podem ter impacto direto na demanda. Sendo esse impacto um dos pontos chave desta dissertação, adotou-se a Equação 6 para efetuação do cálculo do estoque de segurança.

Foram simulados cenários de diferentes níveis de serviço, considerando as variáveis (carga da refinaria e *lead time*) normalmente distribuídas e utilizando a tabela normal, foram obtidos valores de  $Z_{SL}$ , para cada nível de serviço estipulado.

O estoque médio (EM) foi calculado pela Equação 8 apresentada no capítulo de Referencial Teórico.

Dando sequencia ao método, o cálculo do Custo de Manutenção foi realizado a partir das Equações 7 e 9, propostas por Silver et al. (2017).

Como já mencionado, o custo de falta de matéria-prima está mais relacionado a uma conseqüente redução de carga da refinaria ou uma descontinuidade operacional que à perda de vendas.

Para determinação do custo de falta, foram levantados os volumes diários de estoque do sistema e os registros de ocorrência de redução de carga devido a baixos níveis de estoque de óleo em função de dificuldades de atracação de navios

no terminal, com a finalidade de apurar o impacto das variações de *lead-time* na carga da refinaria.

A partir de bases de dados alimentadas pela gerência de Acompanhamento Operacional foi possível o ganho mensal não capturado devido a uma eventual falta de estoque de óleo. Como explicado anteriormente, o ganho que se deixou de capturar nesses meses, em função ao desvio de carga processada, é correspondente ao custo de falta de matéria-prima nesses períodos.

## 4

### Estudo de Caso

#### 4.1

##### Contextualização sobre a Empresa

A Petrobras é uma empresa brasileira do segmento de energia, atuante nas áreas de exploração, produção, refino, comercialização e transporte de petróleo, gás natural e seus derivados. É uma das maiores petrolíferas de capital aberto do mundo, contando com uma reserva comprovada de 9,7 bilhões de barris de óleo equivalente e totalizando uma produção diária de 2,8 milhões de barris em seus 120 campos de produção. Seu parque de refino dispõe de 13 refinarias, localizadas em quatro das cinco regiões do país, e processa, em média, 1,8 milhões de barris de óleo por dia (Petrobras, 2018).

A empresa está dividida em sete diretorias, sendo que duas delas são responsáveis pelas áreas operacionais. A diretoria de Exploração e Produção (E&P) fica encarregada da gestão dos ativos de exploração e produção de petróleo, enquanto a diretoria de Refino e Gás Natural gerencia as refinarias.

As atividades que compõem a cadeia de suprimentos de petróleo são divididas em três grandes segmentos: *upstream*, *midstream* e *downstream*. O segmento de *upstream* compreende as atividades ligadas à exploração e produção de petróleo, enquanto o *midstream* consiste basicamente na atividade de refino e no transporte do petróleo do local de produção até as refinarias (Ribas, 2012).

Desta forma, pode-se dizer que as incumbências da diretoria de Refino e Gás Natural (RGN) fazem parte do segmento de *midstream*, assim como toda a logística de transporte do óleo, serviço prestado por uma empresa subsidiária da Petrobras, a Transpetro.

Esta diretoria possui sete gerências executivas, das quais três apresentam relação direta com o processo de reposição de estoque, objeto de estudo desta dissertação, e se encontram expostas na Figura 5 abaixo.

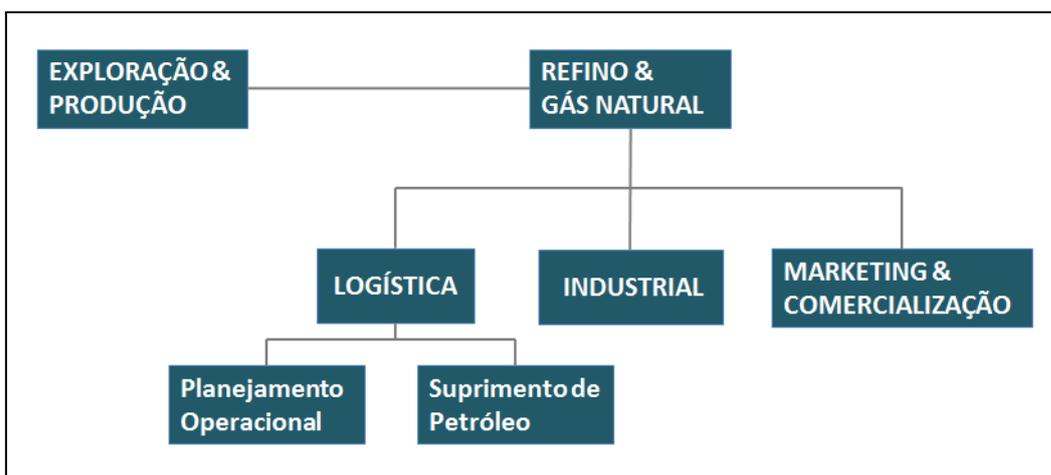


Figura 5: Organograma simplificado da Petrobras, com ênfase nas áreas afins do objeto de estudo.

Fonte: Elaboração própria.

A gerência executiva de Marketing e Comercialização é responsável por planejar, executar e avaliar as atividades de marketing e comercialização de petróleo e seus derivados, biocombustíveis e petroquímicos, na Petrobras e em empresas do Sistema Petrobras no exterior, estabelecendo preços e desenvolvendo produtos e serviços com base nas necessidades dos clientes, de forma a garantir a colocação da produção no mercado, seja produção interna ou por meio de importação, gerando o retorno/rentabilidade esperados pela Companhia (Petrobras, 2018).

A Industrial é responsável pelo planejamento, gestão, organização e implementação das políticas, estratégias e diretrizes, de forma integrada, em sua área, compreendendo gestão das Unidades de Operações, visando otimizar e maximizar o processo produtivo de modo a garantir o maior valor agregado aos produtos e a melhor rentabilidade para a Petrobras, de forma segura com conformidade e respeito ao meio ambiente (Petrobras, 2018).

A gerência executiva de Logística, por sua vez, é encarregada de garantir uma gestão integrada da operação de *Midstream* entre os processos industriais e os mercados consumidores, maximizando rentabilidade do conjunto de produtos e minimizando custos e perdas (Petrobras, 2018).

As gerências de Planejamento Operacional e Suprimento de Petróleo estão sob o comando desta gerência executiva. Estas áreas são responsáveis pelo

planejamento de carga das refinarias e de produção de derivados, alocação e suprimento de óleo para as refinarias, dentre outras importantes tarefas do gerenciamento da cadeia de suprimento de petróleo, como detalhado na seção seguinte.

#### 4.1.1

##### O Processo de Gestão da Cadeia de Suprimento

Neiro e Pinto (2004) alegam que a indústria do petróleo pode ser caracterizada como uma típica cadeia de suprimentos. Neste contexto, a exploração de petróleo pode ser vista como o nível mais alto da cadeia. As decisões acerca da exploração de petróleo incluem o projeto e o planejamento da infraestrutura dos campos de produção. Em paralelo, também é possível que se importe petróleo de empresas estrangeiras. Navios petroleiros transportam o óleo para terminais, os quais estão conectados às refinarias através de uma rede de oleodutos. As decisões neste nível da cadeia englobam os modais de transporte e o planejamento e programação (*scheduling*) do suprimento.

Ainda de acordo com os autores, o petróleo é convertido em derivados nas refinarias, que podem estar conectadas umas às outras, de forma a tirar proveito das particularidades do esquema de refino cada unidade. Os derivados podem ser movimentados por dutos e navios, assim como o petróleo, ou podem, adicionalmente, utilizar modais rodoviários e ferroviários, ainda que em uma escala menor do que ocorre na distribuição dos produtos finais.

De uma forma geral, o planejamento de produção inclui decisões tais como o nível individual de produção de cada produto, as condições de operação de cada uma das refinarias, bem como as movimentações de produtos a serem feitas com foco no *scheduling* e no gerenciamento de estoque de toda a cadeia.

De acordo com Leiras et al. (2013), o planejamento é categorizado em três instâncias: estratégica (longo-prazo), tática (médio-prazo), abrangendo de poucos meses a um ano, e operacional (curto-prazo), compreendendo um horizonte de até três meses. O planejamento estratégico determina parâmetros relacionados à estrutura da cadeia de suprimentos. Já o planejamento tático está relacionado à elaboração de metas de alocação de matéria-prima e produção e distribuição de

produtos, enquanto o planejamento operacional se refere à utilização das unidades operacionais, levando em consideração suas restrições de tempo e recursos.

O planejamento operacional é desdobrado em programação e, em sequência, é operacionalizado, em um processo mensal ilustrado na Figura 6:

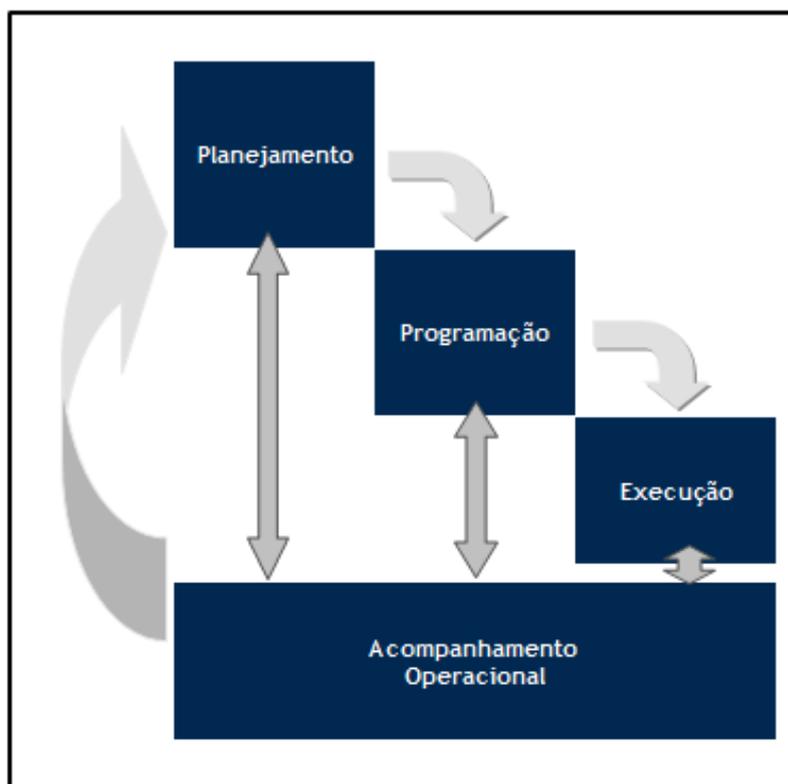


Figura 6: Desenho esquemático do Processo de Gestão da Cadeia de Suprimento.

Fonte: Petrobras, 2016.

A partir da consolidação de premissas fornecidas por diversas áreas da empresa, o Plano de Abastecimento é elaborado com o objetivo de maximizar o resultado financeiro da área de refino, transporte e comercialização da Companhia. É importante ressaltar que na elaboração do Plano, no entanto, o acúmulo ou redução de estoques é tido como uma premissa informada pelas áreas operacionais, não fazendo parte da otimização.

O Plano tem periodicidade mensal e é um dos principais produtos a cargo da gerência de Planejamento Operacional.

A programação é direcionada pelo planejamento, com visão única de otimização da cadeia logística. A partir do Plano de Abastecimento são criados o

Plano de Alocação de Petróleo, o Plano de Movimentação de Derivados e o Plano de Produção das refinarias, que se traduzem em sequências de ações operacionais.

Dando continuidade ao processo, as operações de movimentação de petróleo às refinarias, produção de derivados e entrega dos produtos no mercado, de acordo com as especificações de qualidade são executadas pelas áreas operacionais das gerências executivas Industrial e Logística.

A gerência executiva de Marketing e Comercialização desempenha, então, as atividades comerciais, como importação e exportação de petróleos e derivados e venda de derivados no mercado nacional, anteriormente estabelecidas no Plano do Abastecimento.

Caso haja mudanças significativas no cenário estipulado no momento de elaboração dos Planos, são feitas adaptações com apoio e consenso entre as áreas participantes do processo. Ademais, pequenos ajustes operacionais são realizados corriqueira e diretamente pelos executores, muito embora desvios em relação ao planejamento/ programação sejam evitados ao máximo.

Com a finalidade de realinhar o processo para o alcance das metas definidas, as operações realizadas são acompanhadas e comparadas com o planejamento, por meio de indicadores.

Por fim, existe um processo estruturado de retroalimentação das premissas com ações corretivas para uma melhor gestão da cadeia de suprimentos.

Esse procedimento em muito se assemelha ao processo de planejamento interno tático exposto e proposto sob forma de framework de S&OP por Thomé et al. (2012).

Sua principal gestora é a gerência de Planejamento Operacional que, como já mencionado anteriormente, fica sob a gerência executiva de Logística e sua missão fundamental é planejar de forma integrada as operações de transporte, comerciais e de refino, resultando em indicações de importação e exportação de petróleo e derivados, de carga processada em cada refinaria e principais unidades e dos principais fluxos de produtos por modal marítimo e dutoviário, em articulação com áreas afins do Marketing e Comercialização, Industrial, Exploração e Produção e Transpetro, tendo como objetivo o melhor resultado econômico.

Com essa intenção, a gerência coordena, em articulação com a Industrial, com o Marketing e Comercialização e com a Exploração e Produção, o estabelecimento das premissas de planejamento relativas ao mercado internacional de petróleo e derivados, da demanda doméstica, da política comercial, da produção de petróleo da Petrobras e da disponibilidade dos ativos de refino e transporte e conduz a validação destas premissas com as respectivas áreas.

Desta forma, é gerado mensalmente o Plano do Abastecimento, com o horizonte de 12 meses, que contem indicações de importação e exportação de petróleo e derivados, de carga processada em cada refinaria e principais unidades, e dos principais fluxos de produtos por modal marítimo e dutoviário. A gerência é também responsável pela análise destas indicações, promovendo o seu aprimoramento e incorporando aspectos específicos de cada área.

A rotina de elaboração do Plano do Abastecimento pode ser visualizada na Figura 7:

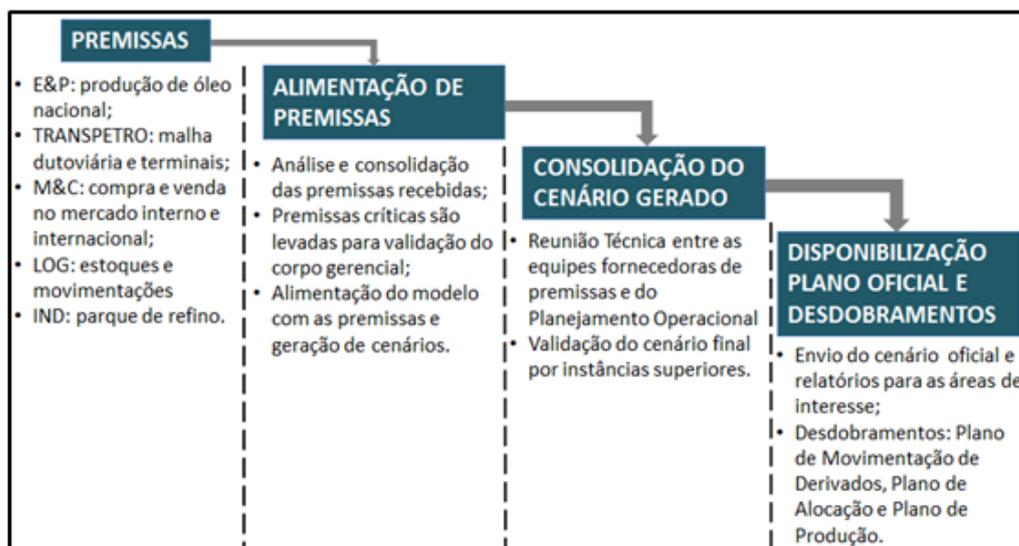


Figura 7: Rotina de elaboração do Plano do Abastecimento.

Fonte: Elaboração própria.

Como mencionado anteriormente, as premissas para elaboração do Plano são recebidas de diversas áreas da Companhia, conforme descrito abaixo:

- Exploração e Produção: responsável pela previsão de produção de óleo nacional;

- Transpetro: informa a disponibilidade e restrições da malha dutoviária e de terminais terrestres e marítimos e dos custos de transporte dos produtos via dutos;
- Marketing e Comercialização: fica a cargo do fornecimento de dados referentes às ofertas e aos contratos de importação e exportação de derivados, às fórmulas de preço, às cotações do mercado internacional e à previsão de vendas para o mercado interno (previsão de demanda);
- Logística: as gerências de Movimentação de Derivados e Suprimento de Petróleo devem informar as variações de estoque operacional e as restrições operacionais de movimentações. A gerência de Afretamento fica responsável pela alimentação dos fretes marítimos praticados;
- Industrial: verifica disponibilidade e desempenho das unidades e restrições e flexibilidades internas às refinarias (Petrobras, 2014).

Após o recebimento, as premissas são analisadas pela equipe técnica do planejamento operacional e consolidadas com os setores responsáveis. Aquelas que apresentam alto grau de incerteza, ou não são de consenso geral entre as áreas, são levadas para discussão e validação junto às gerências executivas.

As premissas consolidadas são, então, alimentadas em um modelo de otimização linear, cujo objetivo consiste em se obter um cenário que gere o melhor resultado econômico para o RGN, e tem a configuração da estrutura do parque de refino e da rede logística da empresa representada.

O cenário tem como principais indicações as cargas planejadas das unidades de cada uma das refinarias; o volume de cada derivado a ser produzido pelas refinarias; os fluxos dutoviários, rodoviários e ferroviários entre as refinarias e terminais, bem como os fluxos marítimos de cabotagem e de longo curso entre os terminais marítimos nacionais, os campos de produção de petróleo e portos localizados no exterior; e o volume de cada corrente de petróleo processado nas refinarias.

As indicações são analisadas e discutidas pelo corpo técnico em uma reunião e reavaliadas, caso se decida ser necessário. O cenário gerado a partir desta reunião é levado para validação novamente junto aos gerentes executivos e, então, oficializado.

Este cenário oficial, uma vez divulgado entre as áreas, servirá de base para a geração de relatório e desdobrado em planos operacionais. Os *outputs* do Plano de Abastecimento são utilizados como *inputs* alimentados no Plano de Alocação, elaborado pelo Suprimento de Petróleo, no Plano de Movimentação de Derivados, a cargo da gerência homônima e nos Planos de Produção rodados pelas refinarias.

São ainda atribuições do Planejamento Operacional a coordenação da definição do plano de paradas programadas de ativos de refino e transporte, em conjunto com as demais áreas operacionais, visando assegurar as condições de integridade dos ativos de refino e transporte e otimizar o resultado econômico; o direcionamento da execução e a priorização de operações no curto prazo, baseadas em indicações econômicas para a programação operacional e para as refinarias; e o suporte para as operações comerciais com a identificação e análise de alternativas de exportação e de importação de petróleo e derivados através de análise econômica integrada (Petrobras, 2016).

Outra gerência que desempenha papel fundamental no processo de reposição do estoque de matéria-prima é o Suprimento de Petróleo.

Uma das áreas efetivamente operacionais da Logística, assim como a gerência de Movimentação de Derivados, o Suprimento de Petróleo é responsável pela gestão das atividades de suprimento de óleo do *Midstream*, desde a aquisição no exterior ou escoamento de petróleo da Exploração e Produção, incluindo a agregação de valor nos terminais até o envio para processamento no refino ou venda para exportação, com a finalidade de operacionalizar os objetivos estabelecidos no Plano de Abastecimento.

Suas funções são: gerenciar o cumprimento do plano de suprimento da cadeia logística, analisando o Plano de Abastecimento com foco nas restrições e necessidades a serem atendidas, visando a elaboração da programação de petróleo e viabilizando, assim, o suprimento nacional. Também é de sua responsabilidade o acompanhamento da movimentação dos estoques de petróleo e da produção do E&P, garantindo um nível de estoque otimizado para todas as operações do Sistema Petrobras (Petrobras, 2016).

#### 4.1.2

### Custos Associados a Estoque de Petróleo

Conforme conceituado no item 3.3, os custos de manutenção de estoque estão relacionados às despesas pela acomodação física do inventário e do risco financeiro, relacionado ao custo de oportunidade do capital mobilizado, a que essa manutenção pode incorrer. Este custo pode ser calculado pela Equação 7. O estoque médio é dado em função do estoque de segurança e do lote de reposição. Já a taxa de manutenção de estoque, como previamente explicado, é o produto entre a taxa de capital média ponderada, utilizada pela empresa para avaliar a viabilidade econômica de projetos e o custo unitário real do produto. Pode-se dizer que o custo unitário real do produto é igual ao custo de oportunidade deste produto, ou seja, é o ganho do melhor uso alternativo deste produto, no caso o petróleo. Na formação desse custo são considerados os custos diretos e indiretos para que o produto seja disponível para processamento ou venda. Ele é uma das variáveis de decisão obtidas pelo Planab, já considerando os custos diretos e indiretos para sua disponibilidade e o melhor uso alternativo para essa corrente, como colocado acima.

Conforme descrito no Apêndice B, os custos de aquisição, relacionados ao tamanho do lote a ser encomendado são otimizados pelo Sistema de Otimização de Alívio de Plataformas (SOAP). Cabe destacar a importância da interação entre o usuário e o modelo, bem como dos ajustes manuais necessários para melhoria do *scheduling* resultante do SOAP (Diz et al. 2014).

De uma forma geral, como pôde ser percebido no capítulo anterior, a literatura dá um grande enfoque à importância de não se perderem vendas, já que esta perda significaria não só uma redução de receita e de nível de serviço, mas também em uma potencial evasão de clientes. De fato, é um ponto de grande relevância quando se trata efetivamente de produto final, como é o caso dos derivados de petróleo. Porém, quando se trata de matéria-prima, a perda de vendas não se dá de forma direta. É até possível que haja ocorrência de perda de vendas, mas, mesmo se houvesse uma parada geral operacional por falta completa de matéria-prima, ainda existiriam estoques de produtos intermediários que evitariam a interrupção do processo e estoques de produtos acabados, capazes de garantir o

suprimento da demanda por um período de tempo. Assim, pode-se dizer que o custo de falta de matéria-prima está mais relacionado a uma conseqüente redução na taxa de produção do sistema, ou no máximo, uma descontinuidade operacional que efetivamente à perda de vendas.

Chegando-se ao extremo de uma descontinuidade operacional, além das implicações óbvias, haveria conseqüências de maior gravidade, como diminuição da segurança operacional e da confiabilidade dos equipamentos. Estes aspectos não serão tratados nesta dissertação, sendo recomendado como um possível trabalho futuro.

Conclui-se, diante do exposto, que o custo de falta do sistema está associado à ausência de otimização da carga da refinaria. Como já explicado anteriormente, a carga ótima da refinaria, isto é, a carga planejada, aquela que deve gerar um maior lucro para o sistema, é calculada mensalmente pelo ciclo de planejamento. Assim sendo, sabe-se que, se a refinaria operar com uma carga diferente desta, o lucro obtido será obrigatoriamente inferior ao planejado. O modelo de otimização linear utilizado para o planejamento tem como variável de decisão apenas a carga média mensal, assim a refinaria tem a liberdade de operar com uma carga diferente no dia-a-dia, contanto que a média mensal planejada seja seguida.

Caso haja um atraso no recebimento de matéria-prima, a carga da refinaria será reduzida até o reestabelecimento de fornecimento de óleo. Em casos críticos, pode haver uma parada das unidades da refinaria por falta de carga. Após esse período, a refinaria poderá operar com uma carga mais alta que a planejada, compensando a perda de refino do período em que houve falta de óleo e conservando a carga média mensal ótima. Entretanto, se o período de *stock out* for longo ou se não for possível fazer a compensação de carga no mesmo mês, a refinaria terá operado com uma média mensal diferente da ótima e por isso o ganho mensal obtido com sua operação será inferior ao ganho que havia sido planejado. Dessa forma, pode-se definir como custo de falta a diferença entre o ganho planejado de operação para o ganho realizado, que é equivalente à perda obtida pela ausência de otimização do sistema em função da redução de carga de uma determinada refinaria por falta de matéria-prima.

## 4.2

### A Unidade de Análise

Este item visa contextualizar e detalhar a unidade de análise, de forma a estabelecer uma ligação entre a revisão bibliográfica, a metodologia e os resultados, que serão expressos no item seguinte.

A unidade de análise é o processo de reposição de estoque que inclui uma unidade de análise embutida (*embedded unit*, Yin, 2009), a cadeia de suprimentos com dois elos: uma refinaria e um terminal aquaviário.

#### 4.2.1

### O Processo de Reposição de Estoque

Primeiramente, é importante detalhar o processo de alocação de petróleo nas refinarias. Como exposto anteriormente, o Plano do Abastecimento tem como variáveis de decisão a carga e a alocação de petróleo ótimas. A ferramenta utilizada para a geração do Plano é um modelo matemático de otimização baseado em programação linear, cuja função-objetivo é a maximização do resultado econômico global do RGN. Este modelo, denominado Planab (Planejamento do Abastecimento), tem granularidade mensal e foi a primeira aplicação de pesquisa operacional desenvolvida na Petrobras (Petrobras, 2016)

De acordo com Leiras et al (2011), a indústria do petróleo tem aumentado o interesse no aprimoramento do planejamento de suas operações devido à natureza dinâmica do ramo.

Para Shapiro (2007), indústrias e companhias estão constantemente à procura de ferramentas de suporte de decisão para o gerenciamento da cadeia de suprimentos. A interdependência entre as diversas decisões tomadas no planejamento da cadeia, assim como os riscos e incertezas inerentes aos processos, ressalta a necessidade de desenvolver modelos de base de dados que apoiem estas decisões.

Leiras et al (2011) realizam uma revisão bibliográfica em modelos de planejamento aplicados a refinarias com ênfase em otimização sob incerteza em que classificam os estudos conforme seu segmento na cadeia (*Upstream*,

*Midstream* e *Downstream*), nível de planejamento (estratégico, tático e operacional), tipo de programação (linear, não linear, inteira mista não linear e inteira mista linear) e determinístico ou estocástico.

De acordo com Hamacher et al. (2010), o Planab possuía, no momento de realização do artigo em questão, mais de 67 mil registros relativos aos dados de refino, além de mais de 18 mil dados de entrada referentes a transporte e comercialização. Atualmente, o modelo conta com 28.000 restrições e 61.000 variáveis por período, dentre elas a indicação de carga ótima das unidades das refinarias e o volume de cada corrente de petróleo, seja nacional ou importada, a ser enviado para as refinarias. (Petrobras, 2016). Para a seleção dos óleos processados por refinaria, a modelagem do Planab leva em consideração as características intrínsecas e extrínsecas, e disponibilidade de cada petróleo, bem como as particularidades e esquema de refino de cada refinaria do sistema.

Como exposto por Hamacher e Oliveira (2007), a criação de um modelo aplicado ao refino de petróleo não é algo que possa ser considerado como trivial, dado o seu porte e o alto grau de relacionamento entre as variáveis envolvidas. Diante disso, o Planab apresenta algumas limitações. Devido ao fato de ser um modelo determinístico, é impossível considerar a variabilidade das premissas alimentadas. Para que uma única variável ou restrição seja alterada, uma nova corrida deve ser feita. Faz parte da rotina do Planejamento Operacional a realização de sensibilidades com a finalidade de analisar alternativas comerciais, de refino ou logísticas, alterando premissas e comparando os resultados, para apuração de seu impacto. Contudo, estas avaliações são feitas pontualmente. Desta forma, a elaboração do Plano não contempla uma análise aprofundada e abrangente dos impactos ocasionados por incertezas na demanda ou no *lead-time*, tornando necessários estudos complementares.

Por se tratar de um modelo de programação linear, suas variáveis e restrições são estritamente lineares, não sendo possível representar dependência entre variáveis de decisão, fazendo-se necessária, no caso de interdependência entre variáveis, a realização de estudos paralelos, com a elaboração de cenários de forma iterativa.

Também não se trata de um modelo de programação inteira e, portanto, suas respostas podem ser qualquer número real, e não necessariamente um número

inteiro, fazendo com que a resposta do modelo não possa ser traduzida em uma operação factível. Por exemplo, a indicação de volume alocado de um determinado óleo em uma refinaria pode assumir qualquer valor contínuo. No entanto, a determinação do número preciso de lotes movimentados é imprescindível, já que na prática a capacidade dos navios é pré-determinada e cada lote deve coincidir com esta capacidade.

De tal modo, pode-se perceber que existem questões de *scheduling* de navios e operações, como giros de tanque e de inventários de duto, que não são alcançadas pelo modelo, tornando necessário um trabalho de adequação operacional de suas indicações.

De posse da indicação de elenco (grupo de óleos selecionados para compor a carga de uma refinaria em um determinado período, neste caso, para um determinado mês), a equipe da coordenação de alocação, pertencente à gerência de Suprimento de Petróleo, analisa sua qualidade e a factibilidade das operações de movimentação propostas.

Após necessários ajustes, estas informações servirão de premissas para outro modelo de otimização, o ALOPE (Sistema de Alocação de Petróleo), sistema que tem como finalidade: propiciar alocações mais rápidas e frequentes e servir de ferramenta de análise de cenários, aumentando a integração da cadeia de suprimento de petróleos. É constituído de dois módulos, um módulo verificador e outro otimizador, podendo-se trabalhar de maneira conjunta ou totalmente independente conforme a necessidade do usuário. O usuário pode ainda trabalhar com duas visões da alocação, visão de qualidade de petróleo e de localização. Na visão de qualidade, os estoques de petróleos são controlados de acordo com a utilização em cada refinaria do sistema Petrobras. Já na visão de localização, é realizado um acompanhamento do estoque agregado de petróleo em cada unidade operacional da cadeia de suprimento (Petrobras, 2018).

Ainda com a finalidade de se aproximar as indicações do planejamento à factibilidade das operações, a indicação de alocação gerada pelo ALOPE entra como premissas em mais um modelo de otimização, o SOAP.

O SOAP (Sistema de Otimização de Alívios de Plataformas) é a ferramenta de otimização da programação de navios de cabotagem de petróleo, usados para aliviar as plataformas, escoando a produção nacional, suprindo os terminais e,

posteriormente, as refinarias. Essa fase de operação envolve um importante equilíbrio: além da necessidade fundamental de se fazer um satisfatório roteamento dos navios, a gestão do estoque nas plataformas de petróleo deve ser realizada de forma a garantir que o estoque de petróleo não atinja a capacidade máxima de armazenamento da plataforma, o que provocaria uma interrupção da produção, e, simultaneamente, que o nível mínimo de suprimento nas refinarias também não seja atingido, o que afetaria a produção de derivados, as vendas e, conseqüentemente, os lucros da empresa. Como método de solução, o modelo utiliza algoritmos genéticos, uma vez que não seria possível solucionar o problema utilizando um método de otimização exato. As principais saídas do modelo são a composição de cargas conforme a evolução de estoque das plataformas, a determinação do navio que fará o transporte de cada uma das cargas, qual porto receberá este navio e em que data (Petrobras, 2014).

Pode-se observar que tanto o lote de reposição de matéria-prima, quanto o momento em que ele deve ser fornecido são determinados pelo SOAP.

Diante do exposto, conclui-se que se trata de uma política de reposição/controlado de estoque “empurrada”, em que o produto é alocado de forma antecipatória, baseado em uma previsão de demanda e de disponibilidade do produto. Não há pedido de ressuprimento de estoque, isto é, o elevado nível de estoques da unidade operacional produtora de petróleo é que dá partida ao processo de reposição.

As políticas de estoques tradicionais não são compatíveis com os parâmetros internos do SOAP, uma vez que a política de estoque do processo em questão não se encaixa nas formas clássicas de controle de estoque. A cadeia de suprimentos analisada é verticalmente integrada, onde o supridor de matéria-prima está interligado ao consumidor, se assemelhando mais com as estratégias de vendor-management inventory (VMI), descritas no Capítulo 2 desta dissertação.

De fato, conforme exposto no referencial teórico, para uma cadeia de suprimentos da indústria de óleo e gás, as estratégias de VMI parecem ser mais adequadas que os procedimentos habituais de controle de estoque, contando, inclusive com diversas aplicações, como apresentado na Tabela 2.

O nível do estoque de segurança a ser mantido em cada um dos terminais e refinarias do sistema é também determinado pela gerência de Suprimento de

Petróleo. O cálculo é feito somando-se a taxa de consumo médio diário de óleo específico ao elo da cadeia de suprimentos a um nível “X” de estoque pré-fixado. A determinação deste nível “X”, por sua vez, é feita de forma empírica, considerando a variabilidade da entrega e o tamanho do lote médio de reposição. Esse método em muito se assemelha ao descrito por Silver et al. (2017) como uma abordagem simplista.

#### 4.2.2

### A Cadeia de Suprimento

A unidade de análise embutida no processo de abastecimento é uma cadeia de suprimentos com dois elos: uma refinaria e um terminal aquaviário.

A Refinaria Alberto Pasqualini (Refap) é uma Unidade de Operações da Petrobras situada no município de Canoas (RS). A Refap começou a operar em 1968, com capacidade inicial de processamento de 7,5 mil m<sup>3</sup>/dia de petróleo (47.100 barris por dia). Desde então, foram feitas diversas ampliações de capacidade, permitindo um processamento atual de 33 mil m<sup>3</sup>/dia (220.000 barris por dia) (Petrobras, 2018).

A planta processa petróleo para obtenção de derivados como gasolina, óleo diesel, glp, óleo combustível e asfalto, entre outros. Quando é recebido na refinaria, o petróleo é enviado para tanques de estocagem onde será certificado e preparado para seu processamento. Feito isso, o petróleo é submetido ao primeiro processo de refino: a destilação. Assim sendo, tomaremos como demanda o volume de petróleo consumido pelas unidades de destilação, ou seja, será admitida como demanda do sistema a carga de destilação da refinaria.

Sendo o ponto mais a jusante do sistema, a refinaria será denominada como instalação 1. Seu suprimento é feito pelo terminal, isto é, é o terminal que envia óleo para a refinaria, por meio de um duto, como pode ser visualizado na Figura 8.

O Terminal de Osório, também conhecido como Tedut, é um terminal oceânico não abrigado, constituído por dois sistemas de monoboias instalados em mar aberto, próximos à costa da cidade de Tramandaí (RS). As monoboias são projetadas para a amarração de navios nas operações de carga e de descarga de petróleo e derivados (nafta petroquímica, diesel, condensado, petroquímico e

gasolina). O terminal atende basicamente à Refinaria Alberto Pasqualini (Refap) e à petroquímica Brasken pelo gasoduto Osório-Canoas (Oscan).

O terminal opera apenas como um ponto intermediador entre o recebimento de petróleo da fonte primária e a refinaria, o ponto de consumo do sistema. Será designado como instalação 2, pois é o segundo elo desta cadeia de suprimentos. Por fim, o terminal recebe o óleo de navios. O petróleo pode ser de origem importada ou nacional, produzido pela própria Petrobras ou comprado de empresas que trabalham em parceria com a mesma em campos de produção. O fornecedor da matéria-prima, apesar de fazer parte da companhia, é controlado pela diretoria de *upstream*, não sendo a mesma diretoria que gerencia as operações dos terminais, refinarias e dutos, conforme já contextualizado no início deste Capítulo. O órgão supridor, então, é considerado como parte externa ao sistema, ou seja, o sistema terá seu limite no recebimento do petróleo por parte do terminal.

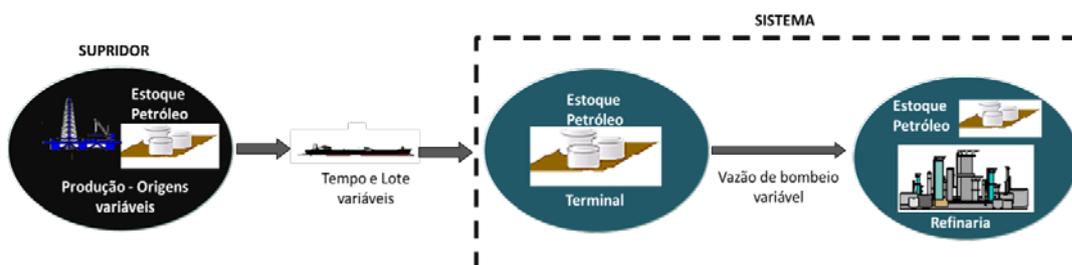


Figura 8: Desenho esquemático da Cadeia de Suprimentos.

Fonte: Elaboração própria.

Apesar disso, a necessidade de alívio das plataformas da companhia também é levada em consideração na determinação de suprimento do terminal, como já mencionado anteriormente.

O petróleo pode ser estocado tanto no terminal, após o recebimento por navio e antes da expedição para a refinaria, quanto na refinaria, antes de ser direcionado para processamento.

O terminal conta com 5 tanques exclusivos para armazenagem de petróleo, com uma capacidade nominal total de 509.000 m<sup>3</sup> de óleo (Transpetro, 2018).

A refinaria possui tanques específicos para armazenar matéria-prima, produtos intermediários (derivados que aguardam o tratamento que lhes conferirá o enquadramento na especificação respectiva) e produtos finais, onde após a

confirmação da sua qualidade para todos os requisitos especificados, são expedidos para os clientes. Sua capacidade nominal de armazenagem de óleo é 428.000 m<sup>3</sup>, sendo sua capacidade máxima operacional de 348.000 m<sup>3</sup> de matéria-prima (Petrobras, 2017).

Para o dado sistema, o estoque de segurança fica localizado exclusivamente na refinaria. A tancagem do terminal é totalmente utilizada para recebimento e expedição da matéria-prima, funcionando como “pulmão”, e chega a ficar completamente vazia em determinados períodos.

Conforme explicado no processo de reposição de estoque, a carga média mensal da refinaria é planejada de acordo com o ciclo de planejamento e a refinaria tem a liberdade de ajustar operacionalmente a sua carga, contanto que a média seja mantida.

Tendo em vista a carga e elenco programados, a disponibilidade de óleo prevista na refinaria, a necessidade de alívio das plataformas da companhia e a previsão de chegada de navios de petróleo comprado e importado, é feita a programação de recebimento e envio de óleo no terminal.

A operação de envio de produto do terminal para a refinaria via modal dutoviário é rápida e previsível, ou seja, pode-se dizer que o tempo de entrega (*leadtime*) de um petróleo já disponível no terminal é pequeno e pouco variável.

O tempo de entrega de matéria-prima no terminal, no entanto, depende do tempo de viagem dos navios, das condições climáticas para atracação no terminal e da espera para atracação. Em razão disso, este tempo de entrega pode possuir uma variabilidade considerável.

## 4.3

### Resultados

#### 4.3.1

#### Cálculo do Estoque de Segurança

Como visto no referencial teórico, de acordo com Korponai et al. (2017) e King (2011), existem fórmulas para cálculo do estoque de segurança que utilizam como dados de entrada demanda e tempos de reposição de estoques e seus

respectivos desvios-padrão, além do nível de serviço desejado para o cálculo de um estoque de segurança eficiente.

Para aplicação destas fórmulas, é necessária uma análise das variâncias da demanda e do *lead time* e da relação de dependência entre essas variâncias.

Conforme descrito no Capítulo referente à metodologia, foram coletados dados históricos de carga diária da unidade de destilação da refinaria, nível de estoque de petróleo diário na refinaria e no terminal, volume de óleo diário recebido no terminal e expedido do terminal para a refinaria, nos anos de 2015, 2016 e 2017. O ano de 2015 foi escolhido como inicial uma vez que até 2014 a empresa apresentava uma diretriz operacional de maximização de carga que não permitiria a avaliação do custo de falta em função da carga de destilação ótima da refinaria.

Como pôde ser confirmado a partir dos dados históricos coletados, o *lead time* não apresenta comportamento determinístico e, assim, a Equação 3 foi descartada para efetuação dos cálculos. O histograma disposto na Figura 9 apresenta os diferentes valores de *lead time* encontrados no período (em dias) e a frequência de cada um deles:

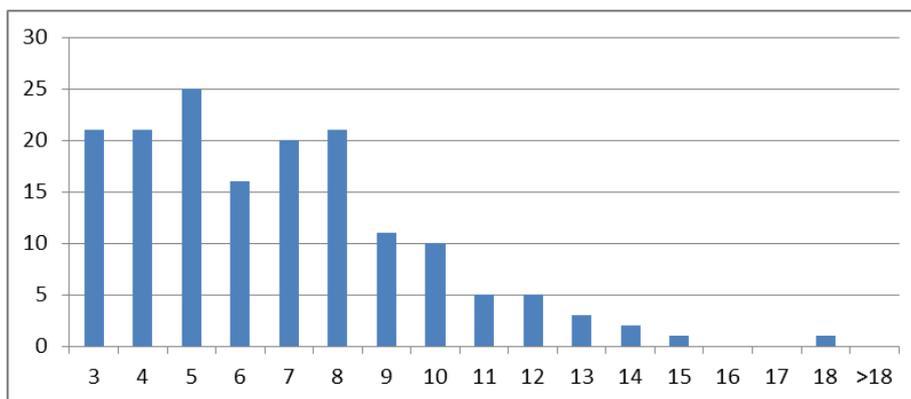


Figura 9: Histograma de valores de lead time.

Fonte: Elaboração própria.

O valor médio do *lead time* encontrado foi de 6,73 dias e o desvio padrão de 2,93 dias.

De forma análoga, a Equação 4 tampouco foi aplicada, uma vez que a demanda, isto é, a carga da refinaria também apresentou variabilidade

considerável. A carga média histórica dos 3 anos estudados foi de 24,80 mil m<sup>3</sup>/dia e seu desvio padrão de 4,77 mil m<sup>3</sup>/dia.

Coube, então, analisar se havia dependência entre as variâncias dos parâmetros. Sob a ótica da previsão de demanda, ou seja, da carga planejada da refinaria, não haveria dependência com o tempo de reposição, uma vez que, como explicado anteriormente, o *lead time* é considerado determinístico no processo de planejamento. Entretanto, quando se analisa a demanda real e não mais a planejada, observa-se que variações no *lead time* podem impactar diretamente a demanda. Sendo esse impacto um dos pontos chave desta dissertação, adotou-se a Equação 6 para efetuação do cálculo do estoque de segurança.

Foram simulados cenários de diferentes níveis de serviço, entre 99,9 e 60%, de forma a dar abrangência ao estudo. Considerando as variáveis (carga da refinaria e *lead time*) normalmente distribuídas e utilizando a tabela normal, obtêm-se os valores de  $Z_{SL}$  conforme indicado na Tabela 5, para cada nível de serviço.

Tabela 5: Estoques de segurança calculados a partir de diferentes níveis de serviço.

Nível de Serviço (%)	$Z_{SL}$	Estoque de Segurança (mil m <sup>3</sup> )
99,9%	3,09	263
99%	2,33	198
98%	2,05	174
97%	1,88	160
95%	1,65	140
90%	1,28	109
85%	1,04	88
84%	1,00	85
80%	0,84	32
70%	0,53	20
60%	0,25	10

Fonte: Elaboração própria.

Observando os valores encontrados, é possível verificar que o estoque de segurança aumenta, de forma não linear, em função ao nível de serviço pretendido, como se encontra explicitado na Figura 10:

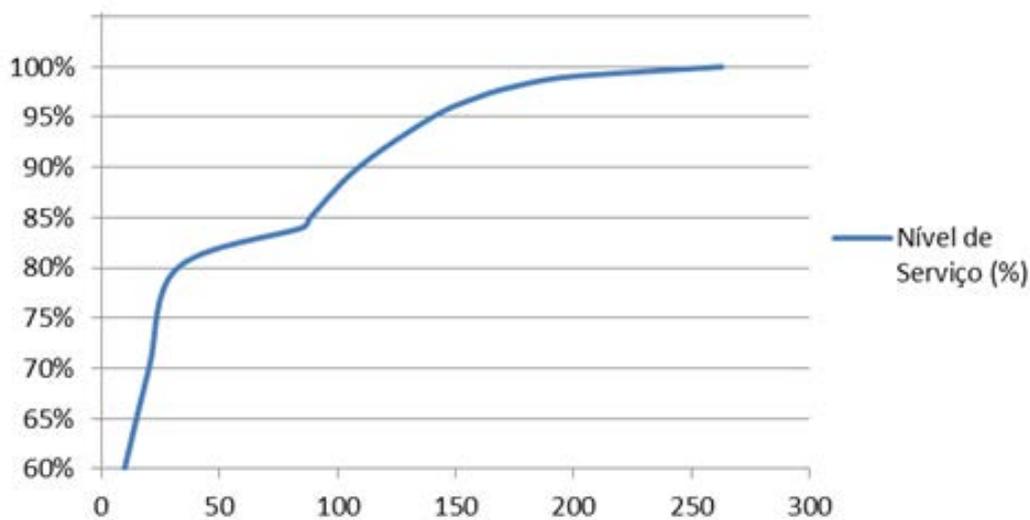


Figura 10: Nível de Serviço x Estoque de Segurança.

Fonte: Elaboração própria.

O volume necessário para garantia de 95% de nível de serviço é de 53% do volume encontrado para um nível de serviço de aproximadamente 100%, enquanto o volume para um nível de serviço de 80% representa 12% do volume exigido para o atendimento de 99,9% de nível de serviço.

#### 4.3.2

##### **Cálculo do Custo de Manutenção do Estoque**

Conforme definido por Silver et al. (2017), o montante de inventário disponível, em qualquer momento, que seja resultado do recebimento de produto em bateladas, é denominado estoque cíclico. O presente estudo adotou estoque cíclico como sendo o lote médio de recebimento de óleo no terminal. O estoque de segurança (ES) foi calculado no tópico 4.3.2, sendo assim, tem-se, para cada nível de serviço, os estoques médios (EM), calculados pela Equação 8 apresentada no capítulo de Referencial Teórico, como disposto na Tabela 6:

Tabela 6: Estoques médios calculados a partir de diferentes níveis de serviço

<b>Nível de Serviço (%)</b>	<b>Estoque Médio (mil m<sup>3</sup>)</b>
99,9%	344
99%	279
98%	256
97%	241
95%	222
90%	190
85%	170
84%	166
80%	113
70%	101
60%	91

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos dados históricos coletados, o estoque cíclico médio (Q) durante o período de janeiro de 2015 a dezembro de 2017 correspondeu a 162 mil m<sup>3</sup>.

É interessante ressaltar que, considerando o volume útil da refinaria e do terminal, a tancagem de petróleo do sistema teria capacidade para armazenar mesmo o volume necessário para garantir um nível de serviço de 99,9%. Essa constatação, todavia, não contabiliza perdas de aproveitamento da capacidade de armazenagem por questões operacionais, como giros de tanques, eventuais ajustes de scheduling em função da qualidade da carga, tempo necessário para condicionamento do óleo para processamento.

Novamente, pode-se observar uma relação não linear entre o nível de serviço e o estoque médio calculado, como ilustrado no gráfico da Figura 11:

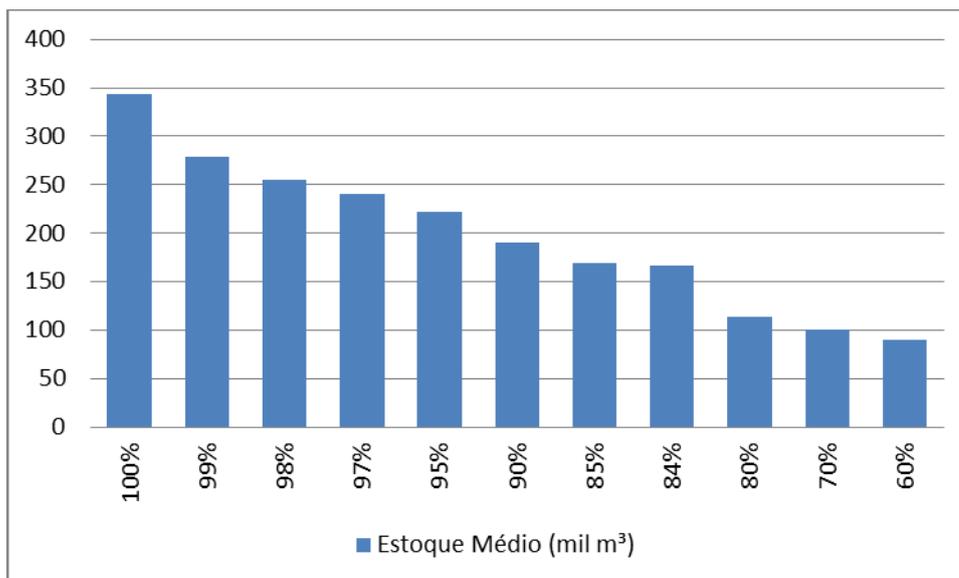


Figura 11: Estoque Médio x Nível de Serviço.

Fonte: Elaboração própria.

Como colocado por Silver et al. (2017), um dos custos associados ao gerenciamento de estoques são os custos de manutenção, que estão relacionados aos dispêndios com a acomodação do inventário e com o risco financeiro da mobilização de capital em que esta manutenção pode incorrer. Dessa forma, o autor propõe o uso da Equação 7 para cálculo do Custo de Manutenção.

Conforme Damodaran (2018), a taxa de capital média ponderada (WACC), empregada por empresas do setor de óleo e gás é de 9,38% ao ano. Essa taxa, por sua vez, é utilizada para cálculo da taxa de manutenção de estoque, conforme Equação 9. O custo unitário real do produto é mantido sob confidencialidade pela empresa e, portanto, está multiplicado por uma constante.

Obteve-se, assim, o custo de manutenção do estoque de matéria-prima em função do nível de serviço pretendido, como exposto no gráfico comparativo da Figura 12:

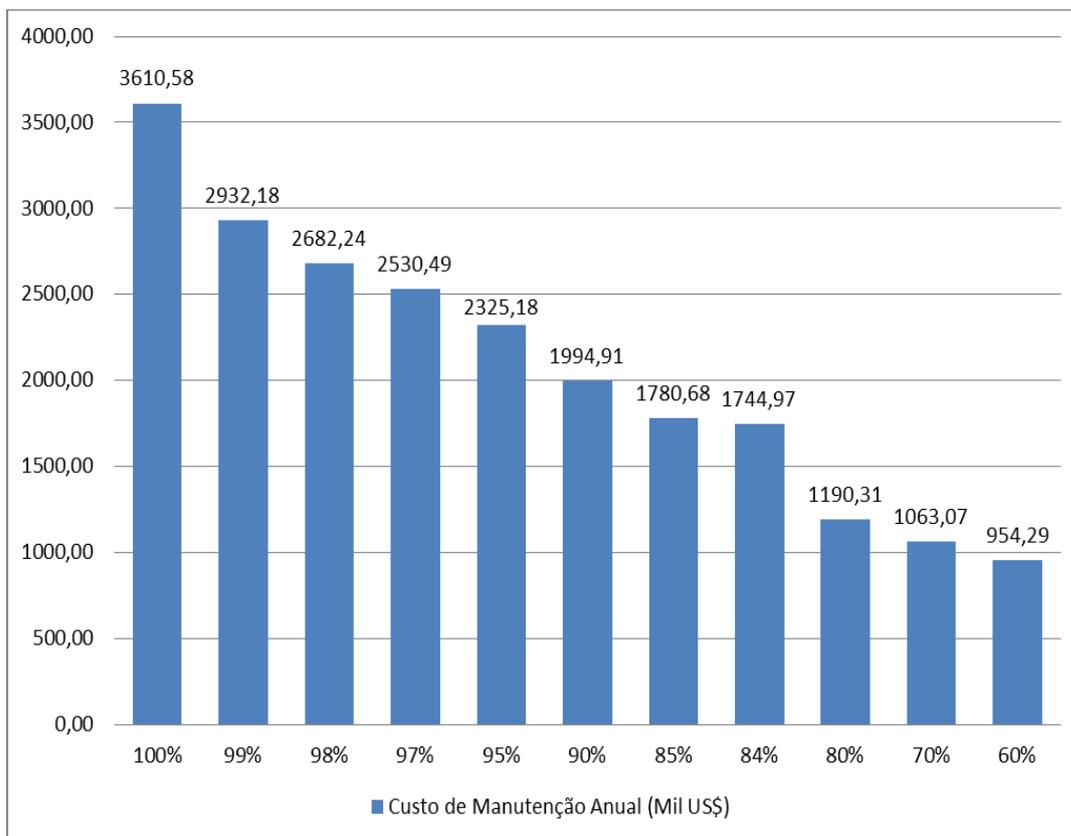


Figura 12: Custo de manutenção de estoque de petróleo anual em função do nível de serviço.

Fonte: Elaboração própria.

### 4.3.3

#### Custo de Falta de Estoque

Como previamente explicado no tópico 4.2.2, o custo de falta de matéria-prima está mais relacionado a uma consequente redução de carga da refinaria ou uma descontinuidade operacional que à perda de vendas.

Dessa forma, ponderou-se que o evento de falta a ser considerado seria a redução de carga em função do nível de estoque disponível, isto é, toda vez em que um determinado nível de estoque no sistema fosse atingido e, por essa razão, a refinaria deixasse de operar com a carga planejada, operando em carga mínima (20 mil m<sup>3</sup>/dia), seria configurado um evento de falta de estoque.

Em consulta à equipe técnica da refinaria, tomou-se conhecimento de que o nível de estoque a partir do qual a decisão de redução de carga é tomada corresponde a 200 mil m<sup>3</sup> de estoque útil do sistema (soma do nível de estoque

útil da refinaria e do terminal). Esse volume, denominado estoque crítico, é capaz de garantir a autonomia da refinaria por 10 dias em carga mínima e foi definido empiricamente.

A redução de carga tem a finalidade de se evitar um *stockout* de petróleo, que levaria a uma descontinuidade operacional. Uma eventual parada e repartida da refinaria geraria custos intangíveis, expondo a operação a riscos como aquecimento dos equipamentos, fraturas por fadigas e outros incidentes que comprometem seriamente a segurança operacional e a confiabilidade dos equipamentos.

Foram levantados os volumes diários de estoque do sistema e os registros de ocorrência de redução de carga devido a baixos níveis de estoque de óleo em função de dificuldades de atracação de navios no terminal.

Uma curva de estoque foi montada a partir da soma do volume de óleo disponível na refinaria e no terminal diariamente, deduzindo o estoque morto.

De acordo com consulta realizada à equipe técnica da refinaria, existe um volume mobilizado em lastro de tanques, correspondente a 62,5 mil m<sup>3</sup>, cuja utilização não é viável, não compondo, então, o volume de estoque útil.

Os eventos de falta também podem ser visualizados na curva de estoque disponível apresentada na Figura 13:

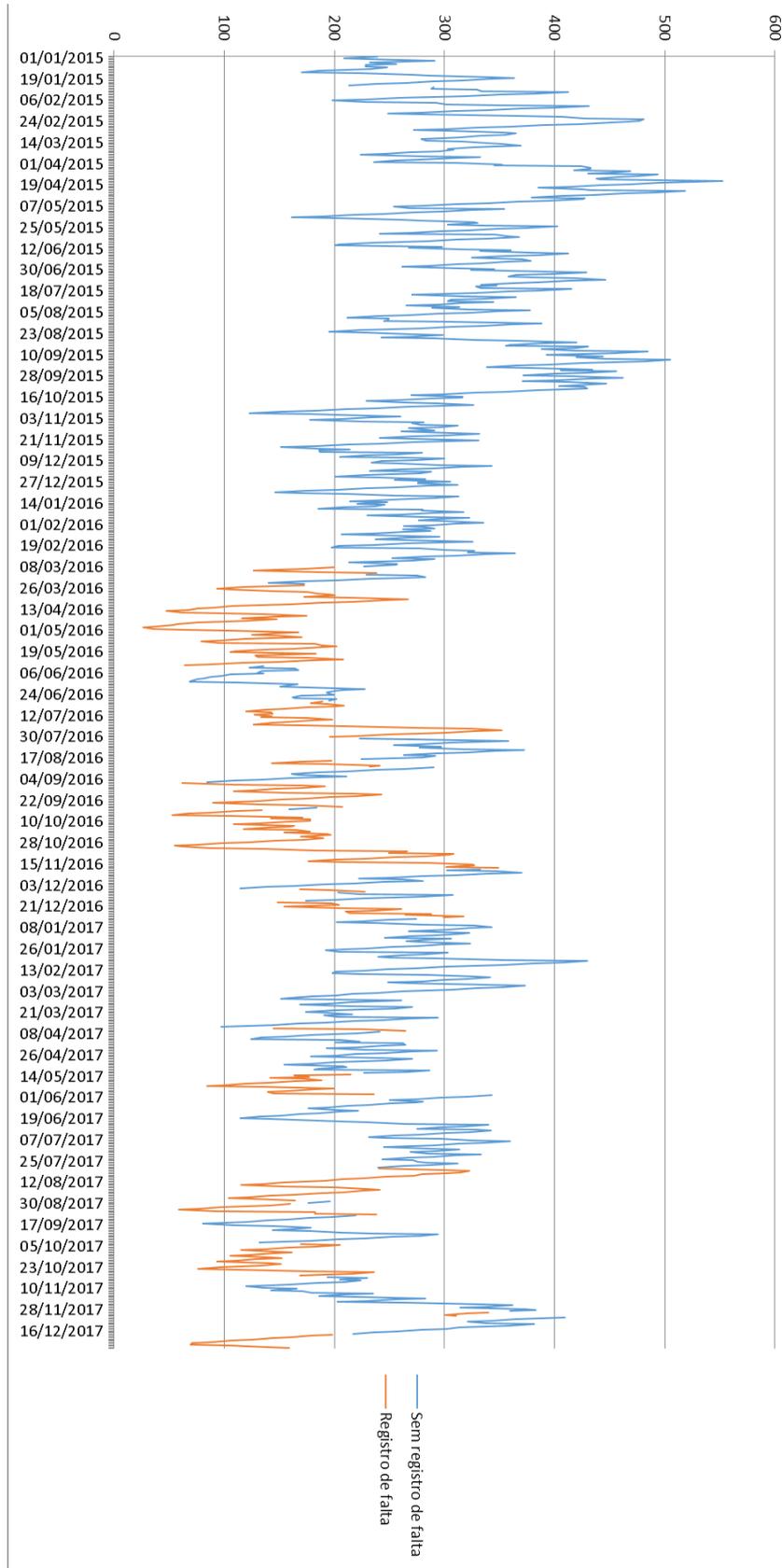


Figura 13: Ciclo de estoque de petróleo e registros de ocorrência de falta.

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se perceber que há uma concentração de número de registros de falta a partir do ano de 2016, bem como uma redução dos níveis de estoque praticados no final do ano de 2015. De fato, é possível constatar tal tendência analisando os níveis médios, mínimos e máximos de estoque e o número de registros de falta realizados para os anos de 2015, 2016 e 2017, encontrados na Tabela 7:

Tabela 7: Níveis médios, mínimos e máximos de estoque e o número de registros de falta realizados por ano e custo de manutenção dos níveis de estoque praticados.

	2015	2016	2017	Total
Nível Médio (mil m <sup>3</sup> )	323	198	225	249
Nível Mínimo (mil m <sup>3</sup> )	123	26	59	26
Nível Máximo (mil m <sup>3</sup> )	552	372	430	552
Registros de Falta	1	200	103	304
Custo de Manutenção de estoque (mil US\$)	3389,51	2074,03	2365,05	2609,04

Fonte: Elaboração própria.

Ocorrências de falta de estoque isoladas podem não ser suficientes para causar um impacto financeiro. Como já mencionado, o prejuízo se dá quando a carga média mensal realizada desvia da carga ótima planejada. A operação tem autonomia para modular a carga ao longo do mês de forma a mitigar os efeitos de desvios pontuais. O impacto financeiro ocorre quando o período de falta se estende a ponto de impossibilitar uma compensação da carga.

Para determinação do custo médio anual de falta no período, foram contabilizados apenas os registros que apresentaram continuidade a ponto de gerar um desvio entre a carga planejada e a carga média.

Fazendo a análise descrita, os meses em que houve sucessivos registros de falta a ponto de impactar negativamente na carga realizada foram abril, maio, julho, setembro e outubro/2016 e maio, agosto e outubro/2017.

A gerência de Acompanhamento Operacional realiza um trabalho de averiguação de desvios entre o planejamento e realização da operação, computando seus motivos e impactos. Foi possível, assim, acessar suas bases de dados de forma a obter o prejuízo mensal causado por uma eventual falta de

estoque de óleo, contanto que essa falha tenha sido suficiente para comprometer a carga média planejada.

Como explicado anteriormente, a perda obtida nesses meses, em função ao desvio de carga processada é correspondente ao custo de falta de matéria-prima nesses períodos. Após levantamento junto a bases de dados oficiais do sistema Petrobras e aplicação do mesmo fator multiplicador constante do custo unitário real, de maneira a manter a confidencialidade da empresa, foi obtido um custo médio de falta de US\$ 3,7 milhões/ano. A Figura 14 expõe os custos anuais de falta verificados no período de análise.

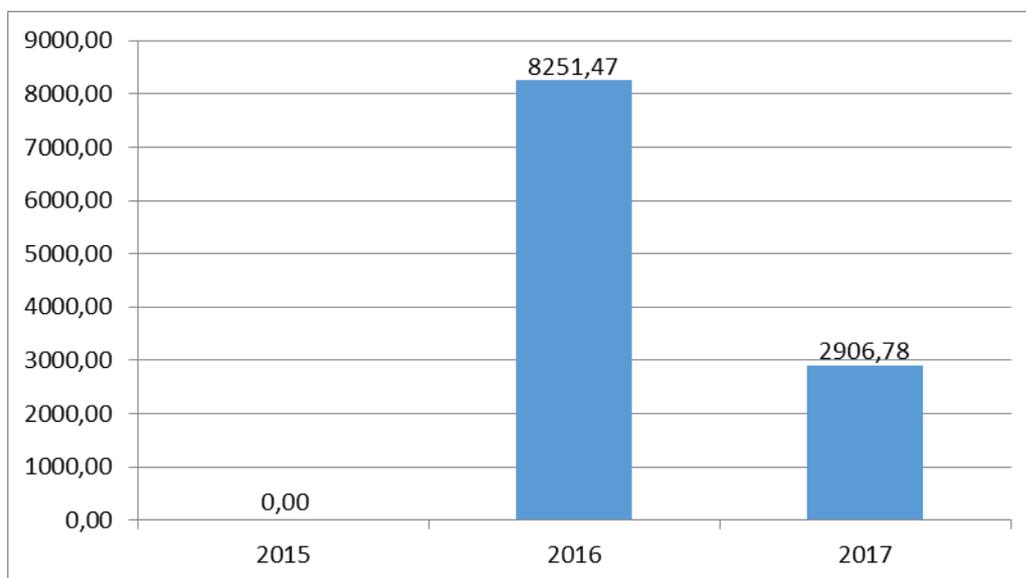


Figura 14: Custo de falta por ano (mil US\$).

Fonte: Elaboração própria.

É possível perceber pela Tabela 7, que os níveis praticados não foram mantidos estáveis durante todo o horizonte. Foi averiguada uma mudança de patamar no mês de outubro de 2015, como pode ser visto na Figura 13. Do início do horizonte estudado até esse redimensionamento dos níveis de estoque, os eventos de falta mostraram-se praticamente extintos. Tomando como base a Equação 2, apresentada no capítulo de referencial teórico, encontra-se um nível de serviço de 99,6%.

Uma das limitações deste trabalho foi não ter sido possível levantar a informação do exato momento e da justificativa da decisão de redução dos níveis

de estoque ocorrida em 2015. Entretanto, não parece absurdo inferir que exatamente a constatação de elevado nível de serviço tenha impulsionado a determinação de revisão dos níveis de estoque.

Contudo, analisando o restante do horizonte, verifica-se um considerável aumento nos registros de falta e conseqüentemente no custo de falta, como exposto na Figura 14.

Percebe-se que no ano de 2016, quando o nível médio de estoque praticado foi o mais baixo da série, o custo de falta atingiu patamares exorbitantes.

Por outro lado, é possível constatar que o aumento do nível de estoque médio praticado em 2016 (198 mil m<sup>3</sup>) para o nível médio praticado em 2017 (225 mil m<sup>3</sup>), ou seja, uma elevação de apenas 27 mil m<sup>3</sup> foi capaz de um abatimento de 65% no custo de falta.

#### 4.3.4

#### **Cálculo do Custo de Aquisição de Estoque**

Conforme explicado anteriormente e descrito no Apêndice B, os custos de aquisição, relacionados ao tamanho do lote a ser encomendado são otimizados pelo Sistema de Otimização de Alívio de Plataformas (SOAP).

Cabe destacar que os custos de aquisição podem ser aproximados aos custos de transporte, uma vez que a unidade produtora de óleo é integrada à Companhia, como mencionado anteriormente e, por isso, não é necessário considerar um dispêndio de dinheiro relativo ao montante de produto entregue. Assim, pode-se aproximar os custos de aquisição ao custo de transporte marítimo referente ao deslocamento da plataforma para o terminal.

Foram levantados custos de transporte unitário de óleo para abastecimento das refinarias realizados durante o ano de 2018. Não foi possível ter acesso aos dados dos anos anteriores, o que pode ser considerada uma limitação deste trabalho.

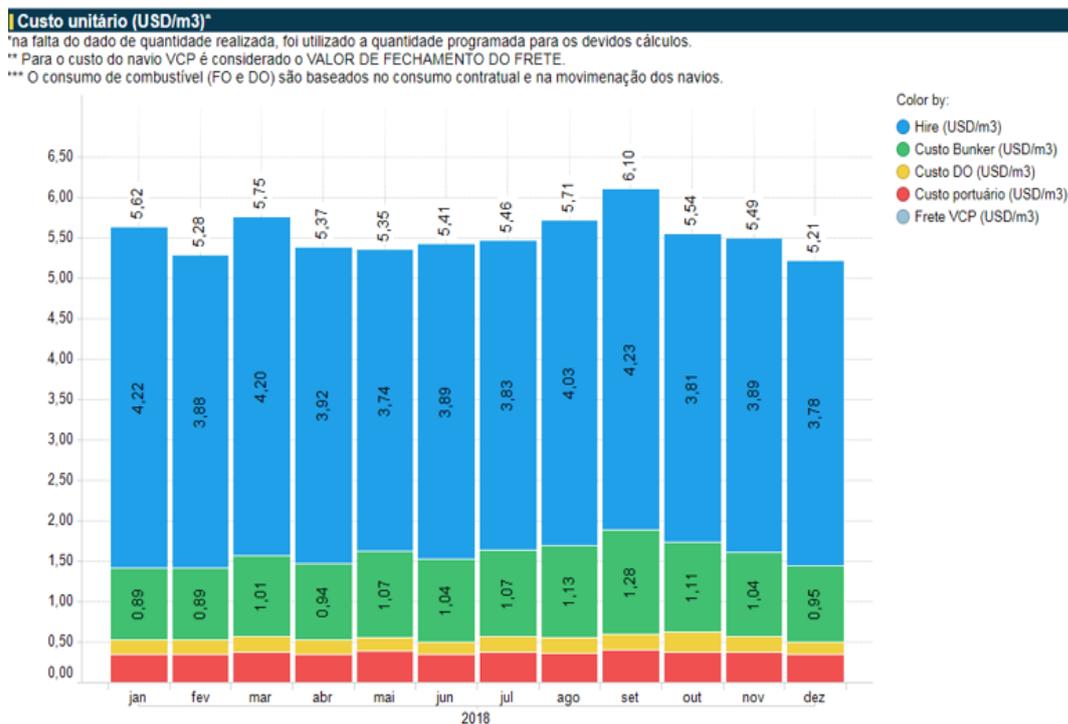


Figura 15: Custo Unitário de Transporte Marítimo (US\$/m<sup>3</sup>).

Fonte: Petrobras (2018).

É possível observar, a partir da Figura 15, que os valores mensais são relativamente constantes ao longo, isto é, não existe uma grande variabilidade nesse custo em relação ao tempo. Dessa forma, foi obtido um valor de transporte médio e aplicado para os anos de estudos.

O volume total de petróleo entregue no Terminal por ano encontra-se disposto na Tabela 8.

Tabela 8: Volume anual de óleo transportado para o Terminal.

	mil m <sup>3</sup>
2015	10004,98
2016	8564,98
2017	7968,38

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 9 apresenta os custos de aquisição obtidos a partir do valor de transporte médio e dos volumes movimentados.

Tabela 9: Custo de Aquisição por ano.

	mil US\$
2015	55409,41694
2016	47434,40183
2017	44130,36008

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.3.5

#### Cálculo do Custo Total de Estoque

Tomando-se os valores obtidos para cada uma das parcelas de custo (aquisição, manutenção e falta), dispostos nas Tabelas 7 e 9 e na Figura 14, calculou-se o custo total para o triênio analisado. Os resultados foram exibidos na Tabela 10.

Tabela 10: Custos Totais de Estoque por ano.

mil US\$/ano	Custo de Aquisição	Custo de Manutenção	Custo de Falta	Custo Total
2015	55409,41694	3389,51	0	58798,93
2016	47434,40183	2074,03	8251,47	57759,90
2017	44130,36008	2365,05	2906,78	49402,19

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.4

#### Análise dos resultados

De acordo com análise da Figura 13 descrita no item 4.3.3, os patamares de estoque adotados no ano de 2015 apresentaram um nível de serviço bastante elevado. Para o período foi registrada apenas uma ocorrência de redução de carga em função de falta de matéria-prima. Entretanto, por consequência, verifica-se na

Tabela 6 um custo de manutenção de estoque também muito elevado, não justificando o nível de estoque de segurança mantido.

Em contrapartida, percebe-se que no ano de 2016, quando o nível médio de estoque praticado foi o mais baixo da série, os eventos de falta saltaram para 200 nos 366 dias e, conseqüentemente, o custo de falta atingiu patamares exorbitantes.

Já com o nível médio praticado em 2017 o registro de redução de carga por escassez de óleo foi reduzido para 103 dias no ano, sendo capaz de um abatimento de 65% no custo de falta em relação a 2016 e de 30% no custo de manutenção em relação a 2015, conforme Tabela 10. Verifica-se, igualmente, que 2017 apresentou o menor custo total despendido com estoques.

É percebida, então, uma indicação de que, empiricamente o nível de estoque foi ajustado ao longo do triênio, chegando a um patamar que pode ser considerado adequado no último ano estudado.

Lançando mão da Equação 6, obtém-se, para o Estoque Médio (225 mil m<sup>3</sup>, conforme Tabela 7) e de Segurança (144 mil m<sup>3</sup>, a partir da Equação 8) adotados em 2017 um  $Z_{SL}$  igual a 1,69 e, portanto, um nível de serviço de 95,5%.

Diante do exposto acima, a presente dissertação traz como recomendação a utilização de um nível de serviço de aproximadamente 95%, baseado em dados empíricos.

Portanto, pode-se dizer que, caso nos anos anteriores, ou seja, 2015 e 2016, o estoque de segurança seguido tivesse levado em conta essa recomendação, o gasto total de estoque desses anos seria igual ao de 2017, resultando em uma economia de aproximadamente 15% dos custos totais associados a estoque nesses dois anos.

Adicionalmente, é essencial destacar que a carga planejada tem grande impacto sobre o estoque de segurança a ser praticado. No estudo foram considerados uma carga média e um desvio padrão médio para os três anos avaliados.

Aplicando o nível de serviço recomendado à demanda prevista para o ano de 2018 e seu desvio padrão (respectivamente 22,1 mil m<sup>3</sup>/dia e 1,59 mil m<sup>3</sup>/dia), considerando a média histórica de tamanho de lote e *lead time*, propõe-se um estoque médio de 195 mil m<sup>3</sup> e um estoque de segurança de 114 mil m<sup>3</sup>.

Cabe ressaltar que o nível de estoque de segurança deve ser avaliado periodicamente, principalmente quando foi percebida uma alteração de previsão de demanda, acompanhando os custos de falta e de manutenção, promovendo uma melhoria contínua ao processo.

## 5

### Conclusão

A presente dissertação mostrou que foi possível determinar o nível de serviço e o estoque de segurança de petróleo a ser mantido em uma refinaria de forma a garantir a programação prevista, a partir da aplicação da metodologia proposta, bem como os possíveis ganhos que a adoção desses níveis pode render.

Caso tivessem sido adotados, para os anos de 2015 e 2016, o estoque de segurança seguido tivesse levado em conta essa recomendação, o gasto total de estoque desses anos seria igual ao de 2017, resultando em uma economia de aproximadamente 15% dos custos totais associados a estoque nesses dois anos.

Recomendou-se um nível de serviço de aproximadamente 95%, baseado em dados empíricos, tendo em vista que no ano de 2017 o nível de serviço auferido foi de 95,5% e foi verificado o menor custo total associado a estoque quando comparado com os demais anos estudados.

Cabe ressaltar que o nível de estoque de segurança adotado aumenta, de forma não linear, em função ao nível de serviço pretendido. O volume necessário para garantia de 95% de nível de serviço é de 53% do volume encontrado para um nível de serviço de aproximadamente 100%, enquanto o volume para um nível de serviço de 80% representa 12% do volume exigido para o atendimento de 99,9% de nível de serviço. Conseqüentemente, os custos de manutenção aumentam na mesma proporção em relação ao nível de serviço, uma vez que esse custo é diretamente proporcional ao nível de estoque mantido.

Foi observado quem o desvio entre a carga operada na refinaria e a planejada gera uma elevada redução de receita, gerando um elevado custo de falta. Um ponto a se ponderar e avaliar em trabalhos futuros é o critério para determinação do nível de estoque limite que configura o evento de falta. Caso esse nível de estoque limite fosse reduzido, o número de evento de falta verificado em um determinado período conseqüentemente seria menor, reduzindo o custo de falta obtido. Entretanto, essa revisão do nível mínimo o traria um novo trade-off, uma vez que geraria um maior risco de parada operacional da refinaria.

Aplicando, de forma análoga ao cálculo efetuado para o nível de serviço recomendado à demanda prevista para o ano de 2018 e seu desvio padrão, sugeriu-se um estoque médio de 195 mil m<sup>3</sup> e um estoque de segurança de 114 mil m<sup>3</sup>.

A construção de um referencial teórico possibilitou o conhecimento e a compreensão dos métodos de cálculo de nível de segurança e de seus custos associados presentes na literatura e a sua relação com o nível de serviço.

Um dos pontos críticos do gerenciamento de estoques é a dificuldade de mensurar seu custo de falta. Esta dissertação se destaca por propor uma definição de custo de falta de estoque de matéria prima ligada à ausência de otimização do planejamento da cadeia de suprimentos e sua determinação baseada em dados históricos operacionais registrados pela Companhia, facilitando a avaliação desse custo no meio corporativo.

Como limitação do trabalho pode-se salientar a desconsideração dos impactos e riscos envolvidos em uma descontinuidade operacional, sendo a investigação do tema uma oportunidade de trabalhos futuros.

A validade externa verificada para o estudo de caso é outro ponto de melhoria. Por se tratar de um caso singular, uma vez que se propõe estudar o processo de reposição de estoque de apenas um produto (petróleo), exclusivamente em uma refinaria do parque de refino, de uma única empresa petrolífera, conferindo maior aprofundamento do estudo, mas, em contrapartida não permitindo replicação para outras refinarias e empresas, o que lhe garantiria uma melhor validade externa. Assim sendo, outra oportunidade de trabalhos futuros seria a aplicação do método em outros sistemas compostos por refinarias e terminais.

Uma oportunidade de trabalhos futuros adicional seria a aplicação dos modelos de controle de estoque VMI encontrados na literatura no contexto da empresa estudada.

## Referências Bibliográficas

ABERDEEN GROUP (2006), **The technology strategies for inventory management benchmark report – How to convert inventory from cost to a competitive advantage**, Disponível em [www.ceoconsulting.ru/upload/files/InvMgtreport\\_Aberdeen.pdf?id=26](http://www.ceoconsulting.ru/upload/files/InvMgtreport_Aberdeen.pdf?id=26) (acessado em 15 de fevereiro de 2018).

AXSÄTER, S. (2006), **Inventory Control**, 2<sup>nd</sup> ed., Springer, New York.

BALLOU, H. (2006), **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**, 5<sup>th</sup> ed., Bookman, Porto Alegre.

BAO S.; ZHU M. (2010), **Study of the product oil inventory management model based on VMI**, Proceedings - 2010 International Forum on Information Technology and Applications, IFITA 2010, v. 2, p. 273-276.

BERSANI C.; MINCIARDI R.; SACILE R. (2010), **Economic and risk implications in the distribution of petrol products to service stations under retailer managed and vendor managed inventories**, International Journal of Sustainable Transportation, v. 4, p. 129-153.

BERTO, R.M.V.S. and NAKANO, D.N. (2000), **A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa**, Produção, v. 9, n. 2, p. 65-75.

BRERETON P.; KITCHENHAM, B.; BUDGEN D. and LI Z.(2008), **Using a protocol template for case study planning**, Proceedings of EASE, Bari.

BOWERSOX, D.; CLOSS, D. and COOPER, M. (2014), **Gestão logística de cadeias de suprimentos**, 4<sup>th</sup> ed., Bookman, Porto Alegre.

BODAGHI G.; JOLAI F. and RABBANI M. (2018), **Evaluating supply chain flexibility under demand uncertainty with smoothing approach and VMI considerations**, Journal of Industrial and Production Engineering v. 35, p. 486-505.

CHIMA, C.M. (2007), **Supply-Chain Management Issues In The Oil And Gas Industry**, Journal of Business & Economics Research, v. 5, n. 6, p. 27-36.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. (2013), **Gestão da Cadeia de Suprimentos**. São Paulo: Pearson.

CÓCCOLA M.E.; MÉNDEZ C.A. and DONDO R.G. (2018), **Optimizing the inventorying and distribution of chemical fluids: An innovative nested column generation approach**, Computers and Chemical Engineering, v.119, p.55-69.

COELHO L.C. and LAPORTE G. (2013), **A branch-and-cut algorithm for the multi-product multi-vehicle inventory-routing problem**, International Journal of Production Research, v. 51, p. 7156-7169.

CRANDALL, R.E. and CRANDALL, W.R. (2003), **Managing excess A life-cycle inventories : approach**, The Academy of Management Executive, vol. 17, no. 3, p. 99-113.

DAMODARAN (2018), A. **Cost of Capital**. Disponível em: <[http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datafile/wacc.htm](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/wacc.htm)>. Acessado em maio de 2018.

DIZ, G.; SCAVARDA, L.F.; ROCHA, R. and HAMACHER, S. (2014), **Decision Support System for PETROBRAS Ship Scheduling**, Articles in Advance. Disponível em <http://pubsonline.informs.org/page/terms-and-conditions> (acessado em 29 de janeiro de 2019).

DRESNER, E.M.; EVERS, T.P. and YAO, Y. (2005), **Supply chain integration in vendor-managed inventory**, Decision Support Systems 43 (2007) 663– 674. Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) (acessado em 26 de janeiro de 2019).

EDIRISINGHE N.C.P. and JAMES R.J.W., (2014), **Fleet routing position-based model for inventory pickup under production shutdown**, European Journal of Operational Research, v. 236, p. 736-747.

EMSERMANN, M. and SIMON, B. (2007), **Optimal Control of an Inventory with Simultaneous Obsolescence**, Interfacez, v. 37, no. 5, p. 445-454.

JAFFE, A.M. and SOLIGO, R. (2002), **The role of inventories in oil market stability**, The Quarterly Review of Economics and Finance, 42 (2), p. 401-415.

KING, L. (2011), **Crack the code: Understanding safety stock and mastering its equations**, APICS Magazine, v. 21, p. 33-36.

KORPONAI, J.; TOTH, A.B. and ILLES, B. (2017), **Effect of the safety stock on the probability of occurrence of the stock shortage**, Proceedings of 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management, Procedia Engineering, 182, p. 335-334.

KUNIGAMI, F.J. and OSÓRIO, W.R. (2009), **Gestão no controle de estoque: estudo de caso em uma montadora automobilística**, Revista Gestão Industrial, v. 5, n. 4, p. 24-41.

LEIRAS, A.; RIBAS, G. and HAMACHER, S. (2011), **Tactical planning of the oil supply chain: optimization under uncertainty**, XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Ubatuba.

LEIRAS, A.; RIBAS, G.; HAMACHER, S. and ELKAMEL, A. (2011), **Literature review of oil refineries planning under uncertainty**, International Journal of Oil, Gas and Coal Technology, v. 4, n. 2, p. 156-173.

LEIRAS, A.; RIBAS, G.; HAMACHER, S. and ELKAMEL, A. (2013), **Tactical and Operational Planning of Multirefinery Networks under Uncertainty: an Iterative Integration Approach**. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 52, p. 8507-8517.

MIGUEL, P.A.C. and SOUZA, R. (2012), **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**, 2<sup>nd</sup> ed., Elsevier, Rio de Janeiro.

NEIRO, S.M.S. and PINTO, J.M. (2004), **A general modeling framework for the operational planning of petroleum supply chain**. Computers & Chemical Engineering, v. 28, p. 871-896.

HAMACHER, S.; HAMACHER, P.; MUNCK, F.; NUNES, P.M.; OLIVEIRA, F. and TEIXEIRA, W. (2010) **Análise do planejamento de abastecimento da cadeia de petróleo no Brasil**. Rio Oil&Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro.

HAMACHER, S. and OLIVEIRA, F. (2007), **Desenvolvimento de uma ferramenta gráfica para sistemas de otimização do abastecimento de petróleo e derivados**. XXXIX SBPO, A Pesquisa Operacional e o Desenvolvimento Sustentável, Fortaleza.

MOREIRA, D.A. and IHY, M.T. **Gerenciamento do abastecimento de mercadorias: Estudo de caso da reposição automática do Makro atacadista S.A.** Revista de Administração e Inovação. São Paulo, v. 3, n. 2, p. 05-22, 2006

PETROBRAS (2014), **Tecnologia – Otimização e Inteligência**, Jornal do Abastecimento, v. 68.

PETROBRAS (2014), **PE-3AT-00003-E Elaboração do Plano do Abastecimento**, Documentação Interna Petrobras, Padrão SINPEP.

PETROBRAS (2016), **Atribuições Gerenciais**, Documentação Interna Petrobras, Diretoria de Refino e Gás Natural, Gerência Executiva de Logística.

PETROBRAS (2016), **Processo de Gestão da Cadeia de Suprimentos**, Documentação Interna Petrobras, Diretoria de Refino e Gás Natural, Gerência Executiva de Logística.

PETROBRAS (2016), **PLANAB – Sistema de Planejamento do Abastecimento**, Documentação Interna Petrobras.

PETROBRAS (2017), **Estudo das Causas que Impactam as Melhores Condições Operacionais do Tedut e da Refap**, Documentação Interna Petrobras, Diretoria de Refino e Gás Natural.

PETROBRAS (2018), Disponível em [http://portalpetrobras.petrobras.com.br/PetrobrasPortal/appmanager/portal/desktop?nfpb=true&pageLabel=home\\_a\\_petrobras](http://portalpetrobras.petrobras.com.br/PetrobrasPortal/appmanager/portal/desktop?nfpb=true&pageLabel=home_a_petrobras) (acessado em 03 de junho/2018).

PETROBRAS (2018), Disponível em [www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br) (acessado em 03 de junho/2018).

RADASANU, A.C. (2016), **Inventory management, service level and safety stock**, Journal of Public Administration, Finance and Law, v. 9, p. 145-153.

RIBAS, G. **Planejamento Operacional de Refinarias de Petróleo sob Incerteza**, Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), 2012.

RUNESON P. and HÖST, M. (2008), **Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering**, Empirical Software Engineering, v. 14, n. 2, p. 131-164.

SILVER, E.; PYKE, D. and PETERSON, R. (2017), **Inventory Management and Production and Scheduling**, 4<sup>th</sup> ed, Taylor&Francis, Boca Raton.

SHAPIRO, J.F. (2007), **Modeling the Supply Chain**, 2<sup>nd</sup> ed., Duxbury-Thomson, Pacific Grove.

SONG, Z. (2017), **Determination of inventory for mining production with a real options approach and comparison with other classic methods**, China: International Journal of Mining, Reclamation and Environment., v.31, p.346-363.

TALEIZADEH A.A. (2017) **Vendor-managed inventory system with partial backordering for evaporating chemical raw material**, Scientia Iranica, v. 24, p. 1483-1492.

THOME, A.M.T.; SCAVARDA, L.F.; SCAVARDA, A.J. and FERNANDEZ, N.S. (2012), **Sales and operations planning: A research synthesis**, International Journal Production Economics, v. 138 (1), p. 1-13.

TRANSPETRO (2018), Disponível em <http://www.transpetro.com.br>. (acessado em 10 de junho, 2018).

WALLER, M.A. and ESPER, T.L. (2014), **Definitive Guide to Inventory Management: The Principles and Strategies for the Efficient Flow of Inventory across the Supply Chain**, 1<sup>st</sup> ed., Pearson FT Press, New Jersey.

WANKE, P. **Gestão de Estoques na Cadeia de Suprimentos**. Editora Atlas. São Paulo, 2011.

YAN, B.; WU, J.; LIU, L. and CHEN, Q. (2017), **Inventory management models in cluster supply chains based on system dynamics**, RAIRO - Operations Research, v. 51 p. 763-778.

YIN, R. (2009), **Case Study Research: Design and Methods**, ser. Applied Social Research Methods, 4<sup>th</sup> ed., SAGE Publications, Thousand Oaks.

# Apêndice A

## Protocolo

Utilizando a abordagem e metodologia de Yin (2009) sobre Estudo de Caso, e baseando-se nas propostas de *Template* para realização de um protocolo de Brereton et al. (2008) e de *Checklist* de Pesquisa de Runeson e Höst (2008), foi elaborado um Protocolo para o Estudo de Caso.

### 1

#### Plano de Fundo

a) Identificar pesquisa prévia sobre o tópico.

Para construção de uma fundamentação teórica e consolidação dos conceitos que tangem o tema, deverá ser realizado um referencial bibliográfico sobre a conceituação de estoques, modelos de gerenciamento e suas estratégias.

Deverá ser realizada uma revisão bibliográfica também com a finalidade de levantar trabalhos já publicados sobre gestão e política de reposição de estoques, estoques de segurança, sobre estudos de caso que abordam gestão de estoques, bem como sua aplicação na indústria do petróleo.

b) Definir as perguntas de pesquisa principais e secundárias do estudo.

A seguinte pergunta de pesquisa orienta este trabalho:

- Qual o nível de estoque de segurança de matéria-prima a ser mantido em uma refinaria?

Como perguntas secundárias podem ser listadas:

- Como a literatura propõe o cálculo do nível de estoque de segurança e de seus custos associados?
- Como calcular o custo de falta de matéria-prima em uma refinaria?
- Existe ganho em se adotar o nível de estoque proposto em comparação com os níveis praticados atualmente na Petrobras? Qual seria este ganho?

## 2

### Desenvolvimento

a) Qual é a unidade de análise a ser estudada?

Pretende-se estudar como unidade de análise o processo de reposição de estoques e como unidade de análise embutida a cadeia de suprimentos composta por dois elos: uma refinaria (Refap) e um terminal aquaviário (Tedut).

b) Quais os objetivos do estudo?

O objetivo da dissertação é determinar qual o nível de serviço e o estoque de segurança de petróleo a ser mantido em uma refinaria de forma a garantir a programação prevista, aplicando os métodos propostos na literatura e gerando um ganho financeiro para a Companhia.

c) Identificar se o estudo aborda um caso singular ou um caso múltiplo.

Trata-se de um caso singular, uma vez que se propõe estudar o processo de reposição de estoque de apenas um produto (petróleo), exclusivamente em uma refinaria do parque de refino, de uma única empresa petrolífera.

## 3

### Coleta de Dados

a) Identificação da informação a ser coletada e definição dos métodos de coleta.

Devem ser coletados dados de nível de estoque diário na refinaria e no terminal, recebimento diário de petróleo no terminal e envio para a refinaria e carga diária realizada da refinaria, carga planejada da refinaria e margem planejada e realizada.

Além disso, será necessário recolher informação de como o processo de reposição de estoques é feito na Companhia.

Para a coleta destes dados e informações, quatro fontes de evidências devem ser utilizadas:

- Documentação: busca de documentos internos, relatórios, padrões e procedimentos;

- Registros em Arquivos: acesso a bancos de dados e ferramentas de capturas de dados;
- Entrevista: foram traçados perfis de entrevistados e realizadas consultas informais às equipes técnicas para obtenção de novas informações e certificação de informações recolhidas e processos;
- Observação Participante: o observador participou dos eventos estudados, uma vez que trabalha como membro de uma das equipes envolvidas no processo.

b) Serão utilizadas múltiplas fontes de evidências ou métodos de coletas de dados? Há triangulação?

Para os dados coletados a partir de banco de dados e ferramentas de captura de dados será considerada apenas uma fonte de evidência. Entretanto, para a coleta de informação sobre o processo, será feita busca em documentos e procedimentos, consulta às equipes técnicas e observação participante, tornando possível uma triangulação da informação reunida.

## 4

### **Análise e Validade de Dados**

a) Definir metodologia de análise de dados.

Deverá ser avaliado se foram utilizadas diferentes fontes de evidências e se foi estabelecido um encadeamento entre elas. Adicionalmente, será feita uma análise de séries temporais, de forma a garantir a validade interna, e uma avaliação da capacidade de replicação do estudo, identificando pontos passíveis de generalização analítica. Por fim, faz-se necessária a certificação de que os mesmos resultados seriam obtidos caso o estudo fosse replicado, avaliando a documentação dos procedimentos adotados e sua transparência.

## 5

### **Relatório**

a) Definição de público-alvo e relação com outros estudos.

O relatório do estudo de caso será submetido à avaliação por uma banca de professores com a finalidade de qualificá-lo como dissertação de mestrado. Será

também apresentado para as áreas participantes do processo de reposição de estoques da empresa estudado, para avaliação de implementação do procedimento proposto, ainda que haja necessidade de adaptação.

## Apêndice B

### Formulação matemática do Sistema de Alívio de Plataformas (SOAP)

De acordo com Diz et al. (2014), segue a formulação matemática do modelo.

Conjuntos:

$v$  VS: frota disponível para *scheduling*.

$i$  N: Cargas a serem transportadas.

$r$  Rv: Rotas e navios habilitados para as viagens.

Parâmetros:

$C_{vr}$  : Custo operacional do navio  $v$  operando na rota  $r$  .

$a_{ivr}$  : Constante binária que determina se a carga  $i$  pode ser transportada pelo navio  $v$  na rota  $r$  .

$Cspot_i$  : Custo de afretamento de um navio em viagem *spot* para transportar a carga  $i$ .

$Icost_v$ : Custo de manutenção de navio ocioso durante o período de *scheduling*.

Variáveis de Decisão:

$x_{vr}$  : Variável binária que o navio  $v$  será alocado na rota  $r$  .

$s_i$  : Variável binária que determina que a carga  $i$  será transportada por um navio fretado.

$Idle_v$ : Variável binária que determina que o navio  $v$  permanecerá ocioso durante o período de *scheduling*.

Função Objetivo

$$\begin{aligned} \min \sum_{v \in VS} \sum_{r \in Rv} C_{vr} \times x_{vr} + \sum_{i \in N} Cspot_i \times s_i \\ + \sum_{v \in VS} Icost_v \times Idle_v, \end{aligned} \quad (B1)$$

Sujeita às seguintes restrições:

$$\sum_{v \in VS} \sum_{r \in Rv} a_{ivr} \times x_{vr} + s_i = 1 \quad \forall i \in N, \quad (\text{B2})$$

$$\sum_{r \in Rv} x_{vr} + Idle_v = 1 \quad \forall v \in VS, \quad (\text{B3})$$

Onde:

$$\begin{aligned} x_{vr} &\in \{0, 1\}, \quad s_i \in \{0, 1\}, \\ Idle_v &\in \{0, 1\} \forall v \in VS, r \in Rv \forall i \in N. \end{aligned} \quad (\text{B4})$$

A Equação (B1) representa a função objetivo que minimiza os custos relacionados à operação de um navio, o custo de afretamento de um navio em viagem spot, e o custo de um navio ocioso no horizonte de programação. A Equação (B2) garante que a carga seja transportada por apenas um navio qualquer que seja a modalidade de afretamento. A Equação (B3) garante que todo navio fretado por tempo seja alocado em apenas uma rota ou seja mantido ocioso. A Equação (B4) os valores possíveis para cada variável do sistema.