UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

HEITOR FAGNER LOPES DE LIMA

MODELO DE APOIO A DECISÃO PARA DIMENSIONAMENTO DA QUANTIDADE DE MANGOTES MARÍTIMOS SOBRESSALENTES PARA TERMINAIS AQUAVIÁRIOS OFFSHORE

Recife

2022

HEITOR FAGNER LOPES DE LIMA

MODELO DE APOIO A DECISÃO PARA DIMENSIONAMENTO DA QUANTIDADE DE MANGOTES MARÍTIMOS SOBRESSALENTES PARA TERMINAIS AQUAVIÁRIOS OFFSHORE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof. Rodrigo José Pires Ferreira, Doutor

Recife

2022

Catalogação na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

L732m Lima, Heitor Fagner Lopes de.
Modelo de apoio a decisão para dimensionamento da quantidade de mangotes marítimos sobressalentes para terminais aquaviários offshore / Heitor Fagner Lopes de Lima. 2022.
85 f: il.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo José Pires Ferreira.
Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Recife, 2022.
Inclui referências.

1. Engenharia de produção. 2. Otimização. 3. Sobressalentes. 4. Mangotes marítimos. 5. Offshore. 6. Gestão da manutenção. I. Ferreira, Rodrigo José Pires (Orientador). II. Título.

UFPE

620.11 CDD (22. ed.) BCTG / 2023 - 31

HEITOR FAGNER LOPES DE LIMA

MODELO DE APOIO A DECISÃO PARA DIMENSIONAMENTO DA QUANTIDADE DE MANGOTES MARÍTIMOS SOBRESSALENTES PARA TERMINAIS AQUAVIÁRIOS OFFSHORE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção
Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Aprovada em 19/10/2022

BANCA EXAMINADORA

_____

Rodrigo José Pires Ferreira, Dr. (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

_____

Marcelo Hazin Alencar, Dr. (Examinador interno)

Universidade Federal de Pernambuco

_____

Miriam Karla Rocha, Drª (Examinadora externa)

Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Dedico este trabalho à minha filha Letícia Lima

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, dou graças ao Deus todo poderoso por tudo que tem feito por mim e o que fará ao longo da minha vida. Sem Ele eu não sou nada. Agradeço também à minha família pelo suporte dado ao longo de toda minha vida estudantil até a chegada deste momento, em especial às minhas mães Elisa Lucena e Maria do Céu Lucena que se sacrificaram para que eu pudesse ter um futuro digno e hoje colho os frutos. Não posso deixar de destacar também minha esposa Alcione Carla que Deus colocou ao meu lado nesta jornada e que está, e sempre estará, comigo na alegria, na tristeza, na saúde e na doença. Sem seu incentivo e suporte eu não seria quem sou hoje e muito menos estaria escrevendo esta dissertação.

Agradeço ao professor Rodrigo Ferreira pelo incentivo para ingressar no mestrado, para escrever artigos, participar de congressos, abrir as portas do mundo acadêmico para mim e pela paciência e horas dedicadas na orientação, pelas excelentes aulas e por contribuir para que eu seja um profissional melhor.

Um muito obrigado também à UFPE pela oportunidade de participar deste excelente curso e a todos os professores e colaboradores que contribuíram nessa jornada.

Destaco também os companheiros de trabalho que me ajudaram ao longo da pesquisa, dentre eles Raphael Reguine, Daniel Sartori e Rodrigo Sória.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à TRANSPETRO e meus antigos gestores Cássio Mikulski, Igor Albuquerque e Rafael Lugon pelo suporte e incentivo em buscar conhecimento e aplicar para crescimento da nossa tão amada companhia.

RESUMO

As exportações e importações de petróleo e derivados possuem elevada relevância estratégica no Brasil e no mundo. A movimentação desses hidrocarbonetos entre navios e terminais marítimos é uma atividade de elevado risco, dada a possibilidade vazamento no mar e impactos ambientais. Portanto é de suma importância um bom gerenciamento dos ativos físicos e, para isso, um dos pontos de atenção é a gestão adequada dos sobressalentes que dão suporte à gestão da manutenção de terminais marítimos. Dentre os principais sobressalentes dos terminais aquaviários *offshore* estão os mangotes marítimos. Existem muitas pesquisas sobre resistência mecânica, materiais de construção e simulações computacionais sobre estes componentes, porém não foram encontrados na literatura estudos sobre a determinação da quantidade ótima que deve ser mantida em estoque. Diante desse contexto, este trabalho apresenta um modelo de apoio a decisão para otimização da quantidade de mangotes sobressalentes e expõe a aplicação em terminais *offshore* responsáveis pelo abastecimento de regiões com milhões de pessoas ao longo da costa brasileira. O modelo desenvolvido se mostrou de fácil utilização e reduziu o risco de impacto econômico, social e ambiental na empresa em que foi aplicado. O impacto social se dá pela redução do risco de desabastecimento de petróleo e derivados em várias regiões do país, o que resultaria num aumento considerável do custo de alimentos, dentre outros que dependem de logística com caminhões a diesel. O impacto ambiental se dá pela redução do risco de acidentes ambientais ocorrida pelo aumento do nível de serviço de linhas de transferência de petróleo que atravessam quilômetros no mar. E, por fim o impacto econômico devido à redução de custo de investimento em ativos imobilizados em cerca de R$ 20 milhões em relação ao que era previsto antes da aplicação da metodologia, bem como a redução anual do custo com manutenção do estoque em aproximadamente R$ 5 milhões. Além da redução possível do lucro cessante e do aprimoramento da estimativa orçamentaria para os anos seguintes, o ponto ótimo calculado para cada tipo de mangote resultou na diminuição do risco de quebra de estoque média em mais de 22%.

Palavras-chave: otimização; sobressalentes; mangotes marítimos; offshore; gestão da manutenção.

ABSTRACT

Exports and imports of oil and derivatives have high strategic relevance in Brazil and in the world. The movement of these hydrocarbons between ships and maritime terminals is a high-risk activity, given the possibility of leakage at sea and environmental impacts. Therefore, good physical assets management is of paramount importance and, for that, one of the points of attention is the proper management of spare parts that support the maintenance management of maritime terminals. Among the main spare parts of offshore terminals are maritime hoses. There is a lot of research on mechanical strength, construction materials and computer simulations on these components, but no studies were found in the literature on determining the optimal amount that should be kept in stock. Given this context, this work presents a decision support model for the optimization the amount of spare hoses and exposes the application in offshore terminals responsible for supplying regions with millions of people along the Brazilian coast. The developed model proved to be easy to use and reduced the risk of economic, social and environmental impact on the company in which it was applied. The social impact is due to the reduction of the risk of oil shortages and derivatives in several regions of the country, which would result in a considerable increase in the cost of food, among others that depend on logistics with diesel trucks. The environmental impact is due to the reduction in the risk of environmental accidents caused by the increase in the level of service of oil transfer lines that cross kilometers at sea. And, finally, the economic impact due to the reduction in the cost of investment in fixed assets of approximately R$ 20 million compared to what was expected before the application of the methodology, as well as the annual reduction in the cost of maintaining inventory by approximately R$ $5 million. In addition to the possible reduction in lost profit and the improvement of the budget estimate for the following years, the optimal point calculated for each type of hose resulted in a decrease in the risk of average out of stock by more than 22%.

Keywords: optimization; spare parts; marine hoses; offshore; maintenance management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil de carga em toneladas em 2020 12
Figura 2 - Grupo de mercadoria em toneladas em 2020 13
Figura 3 - Exemplo de configuração de mangotes em quadros de boias 20
Figura 4 - Exemplo de configuração de mangotes em monoboias 21
Figura 5 - Navio atracado em terminal de monoboia 23
Figura 6 - Navio atracado em terminal de quadros de boias 24
Figura 7 - comportamento de f(t) ao variar o parâmetro de escala em distribuição Weibull. 30
Figura 8 - Esquema de dados completos. 31
Figura 9 - Esquema com dados em intervalos. 32
Figura 10 - Esquema com dados censurados. 33
Figura 11 - Uso típico de estoque 35
Figura 12 - Nível de estoque em um ciclo típico 36
Figura 13 - Variação dos custos em função da quantidade comprada 37
Figura 14 - Número de publicações por palavra-chave 38
Figura 15 - Categorias de demanda de peças de reposição 41
Figura 16 - Fluxo das etapas do modelo proposto 46
Figura 17 - Função distribuição de probabilidade de falha 48
Figura 18 - Cálculo de quantidade ótima em estoque 49
Figura 19 - Fluxograma básico do cálculo de quantidade sobressalente ótima 50
Figura 20 - Distribuição dos terminais offshore na costa brasileira 52
Figura 21 - Localização do terminal e dos dois quadros de boias relacionados 53
Figura 22 - Exemplo de ficha individual de mangote preenchida 64
Figura 23 - Resultados de inspeções de mangotes por tipo 65
Figura 24 - Modos de falha para mangotes tipo Meio de Linha 66
Figura 25 - TTF para mangotes de meio de linha 66
Figura 26 - Curvas de confiabilidade para mangotes FOB 67
Figura 27 - Curvas de confiabilidade para mangotes Meio de Linha 68
Figura 28 - Curvas de confiabilidade para mangotes Tail 69
Figura 29 - Curvas de confiabilidade para mangotes Tanker Rail 69
Figura 30 - Curvas de confiabilidade para mangotes submarinos 70
Figura 31 - Classificação de distribuições conforme dados no sistema Weibull ++ 71
Figura 32 - Exemplo de testes de aderência utilizando Weibull ++ 72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de tipos de mangotes para quadros de boias 20
Tabela 2 - Exemplo de tipos de mangotes para monoboias 22
Tabela 3 - Substituição de mangotes offshore por tempo 52
Tabela 4 - Configuração das linhas do terminal T055 54
Tabela 5 - Configuração das linhas do terminal T057 55
Tabela 6 - Configuração das linhas do terminal T073 57
Tabela 7 - Configuração das linhas do terminal T039 58
Tabela 8 - Configuração das linhas do terminal T044 59
Tabela 9 - Estoque mínimo por terminal, conforme padrão interno vigente 60
Tabela 10 - Estoque atual e lead time por tipo de mangote 61
Tabela 11 - Consumo de mangotes por tipo e ano 62
Tabela 12 - Nível de Segurança (NS) considerando o estoque atual 63
Tabela 13 - Cálculo do custo provável da falta de mangotes em estoque 73
Tabela 14 - Cálculo do estoque otimizado 74
Tabela 15 - Resumo das quantidades e custos calculados 75
Tabela 16 - Distribuição sugerida de armazenamento dos mangotes sobressalentes 76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO 15

1.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 16

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 18

2 REFERENCIAL TEÓRICO 19

2.1 MANGOTES MARÍTIMOS *OFFSHORE* 19

2.2 CONFIABILIDADE 25

2.3 GESTÃO DE ESTOQUES 34

2.4 DIMENSIONAMENTO DE SOBRESSALENTES 40

2.5 ANÁLISE DE RISCO EM GASODUTOS 43

3 MODELO PROPOSTO 45

4 APLICAÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DOS RESULTADOS 51

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 77

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA 78

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 79

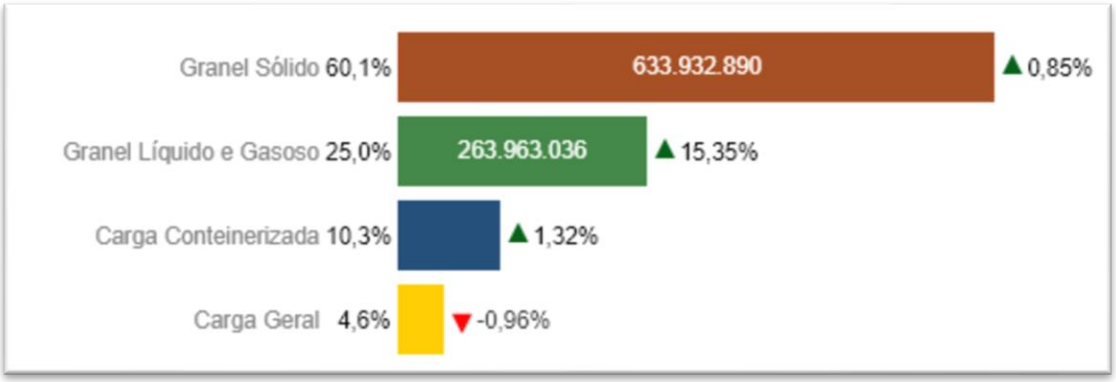
REFERÊNCIAS 80

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, as exportações de petróleo do Brasil, ao fim do mês de julho de 2020, corresponderam a 48% da produção nacional e o volume exportado cresceu 370% desde 2013 (IBP, 2020). Ao observar a movimentação dos derivados de petróleo do ano 2000 até 2020 é possível notar um aumento de 82% no volume exportado e 54% no volume importado (ANP, 2021). Segundo Saraceni (2006), mais de 90% das cargas comercializadas entre países é realizada através do modal marítimo. Esses dados mostram o crescimento da importância estratégica que os terminais marítimos por onde se movimentam o petróleo, derivados e demais combustíveis têm na economia brasileira.

Dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ mostram que o Brasil movimentou em seus portos mais de 260 milhões de toneladas de granéis líquidos e gasosos no ano de 2020, sendo este perfil de carga o segundo maior do país, ficando atrás somente de granéis sólidos (ANTAQ, 2021). A Figura 1 mostra os principais perfis de carga movimentados no ano de 2020.

Figura 1 - Perfil de carga em toneladas em 2020

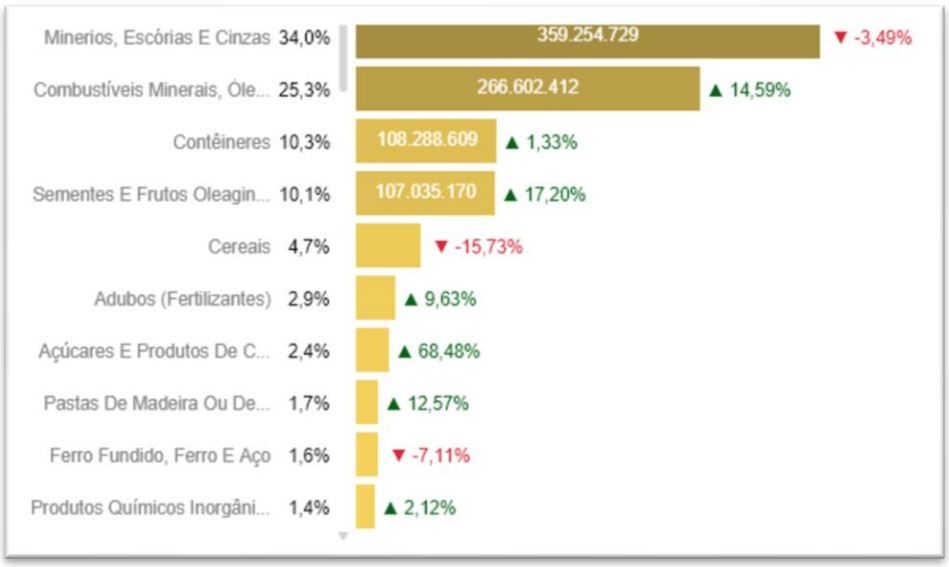


Fonte: Adaptado de ANTAQ (2021)

Ao comparar os anos de 2019 e 2020, é possível notar que a quantidade total de granéis líquidos aumentou em 15,35%, sendo este o maior aumento percentual dentre as principais cargas movimentadas. Entre os grupos de mercadorias mais movimentados está o de combustíveis minerais, óleos minerais e produtos de sua destilação, matérias betuminosas e

ceras minerais, sendo a segunda maior quantidade em toneladas. A Figura 2 mostra os principais perfis de cargas movimentados nos portos brasileiros no ano de 2020.

Figura 2 - Grupo de mercadoria em toneladas em 2020



Fonte: Adaptado de ANTAQ (2021)

A interligação dos navios com a terra é feita em terminais marítimos que ficam distribuídos ao longo de toda a costa brasileira, tornando-os peças-chave na cadeia logística de petróleo e derivados do país. Os dois principais meios de conexão entre os navios petroleiros e os terminais marítimos são: braços metálicos de carregamento e mangotes flexíveis (TRANSPETRO, 2021).

A movimentação de derivados de petróleo entre navios e terminais aquaviários é uma atividade de elevado risco, dada a possibilidade de rompimento de mangotes ou braços de carregamento no mar, trazendo grandes impactos ambientais. Portanto é de suma importância um bom gerenciamento de manutenção e, para isso, um dos pontos de atenção relevantes é a gestão adequada dos sobressalentes (TRANSPETRO, 2021).

A gestão de sobressalentes é reconhecidamente peça fundamental para a performance das empresas tanto do ramo industrial, quanto comercial e, por isso, é reconhecida como uma importante função desse setor. (NENES, et al., 2010). As peças sobressalentes devem ser mantidas em estoque para reduzir os tempos parados dos equipamentos. O dimensionamento precisa ser de tal forma que haja uma melhor disponibilidade com o menor custo possível (HU, et al., 2018).

Segundo Waters (2003), estima-se que o custo para manter um material em estoque é de aproximadamente 25% do seu valor ao ano. Assim, manter sobressalentes de alto valor e baixo giro em estoque tem que atender critérios técnicos para evitar custos desnecessários.

Em uma empresa que possui diversas unidades espalhadas por um ou vários países, comprar sobressalentes na quantidade correta, no tempo adequado e para os locais apropriados resulta em grande economia financeira e, consequentemente, aumento da competitividade.

Nenes *et al*. (2010), analisou o gerenciamento de múltiplos itens com demanda irregular em um estudo de caso utilizando a distribuição de Poisson e conseguiu diminuir cerca de 8% em um ano de seu estoque médio sem deterioração perceptível do nível de serviço mesmo havendo 3% de aumento no volume de vendas da unidade de negócios comerciais da empresa durante o mesmo período.

A empresa Philips Electronics conseguiu, numa estimativa conservadora, projetar a economia mínima de 5 milhões de dólares ao ano ao aplicar estudo semelhante (KOK, et al., 2005) com o auxílio de um software especializado com integração ao sistema de gerenciamento computadorizado da manutenção. No mesmo sentido de estudos para previsibilidade de materiais em estoque, (KAPUSCINSKI, et al., 2004) estimou uma economia de 43 milhões de dólares na Dell e a Hewlett-Packard realizou uma economia superior a 130 milhões de dólares (BILLINGTON, et al., 2004).

Considerando o elevado custo de aquisição de mangotes bem como a estimativa de custo para mantê-los em estoque e a importância operacional deste tipo de equipamento para terminais aquaviários do mundo todo, identificar e aplicar uma ferramenta de otimização de estoques trará economia milionária para empresas que a autilizarem.

A melhoria na identificação da quantidade ótima de mangotes a serem mantidos em estoque, além de reduzir os custos com armazenamento, pode proporcionar o aumento da eficiência das operações de carga e descarga dos navios de petróleo e derivados nos terminais. Tal aumento de eficiência também pode resultar em redução de custos com diárias de navios, uma vez que se o navio fica mais do que o tempo planejado em um terminal se faz necessário cobrir os custos da diária que chegam à faixa de 100 mil dólares por dia com sobrestadia (SARACENI, 2006).

Além do impacto econômico para a empresa, existe um impacto social pois uma possível falta de mangotes disponíveis poderá causar desabastecimento de produtos como diesel, nafta ou gasolina em diversas regiões e isso leva a uma série de reações em cadeia no fluxo produtivo do país (TRANSPETRO, 2020).

Outro impacto relevante se dá pelo risco de rompimento do mangote durante a operação. A falha de um mangote pode gerar sérios impactos ambientais. Em alguns casos, existem mangotes submarinos que ficam há mais de 30 km da costa. Também existem operações denominadas *ship-to-ship* onde a transferência de granéis líquidos é realizada entre navios também utilizando mangotes. Analisar os riscos envolvidos e ações mitigadoras é de suma importância quando se trabalha com hidrocarbonetos, existe um vasto histórico de acidentes envolvendo vazamento e explosões de derivados de petróleo (LIMA, et al., 2021)

Em resumo, existe alto potencial para impactos positivos do ponto de vista financeiro para a companhia, função estratégica para a economia do país e elevado risco ambiental nas operações com mangotes (TRANSPETRO, 2021).

Apesar do potencial de otimização de custos e diminuição de riscos ambientais, existem poucos estudos voltados especificamente para o dimensionamento de mangotes *offshore* sobressalentes. Em geral, dado o elevado potencial de danos em caso de acidentes, as recomendações de estoque existentes são bastante conservadoras.

O guia SMOG (*Single Point Mooring Maintenance and Operations Guide*) de 1995 (OCIMF, 1995) recomenda um estoque mínimo de mangotes de 100% de meio de linha e 200% dos mangotes de extremidade. Por outro lado, a revisão do guia publicada em 2015 (OCIMF, 2015) recomenda que a definição das quantidades seja feita mediante análises de risco e de custo-benefício de forma que se torna possível otimizar o estoque considerando os riscos, criticidades, compartilhamento de estoque, entre outros de cada companhia. Mesmo com esta abertura, muitas empresas continuam utilizando a versão conservadora de 1995.

Dados os cenários expostos, este trabalho busca propor e aplicar um modelo de apoio a decisão que subsidie qual deve ser a quantidade ótima de mangotes *offshore* sobressalentes de forma que os impactos econômicos, ambientais e sociais sejam os menores possíveis.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho busca propor e aplicar um modelo de apoio a decisão para otimização da quantidade de mangotes marítimos sobressalentes e o melhor local para armazenamento nos principais terminais aquaviários *offshore* do Brasil para que seja determinado com a maior

assertividade possível o quanto deve ser investido para manter ou melhorar o desempenho do sistema com o menor custo e risco associado.

1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

- Identificar na literatura e analisar trabalhos que tratem de dimensionamento de sobressalentes com foco em itens iguais ou de características semelhantes aos mangotes offshore;
- Estabelecer mecanismos para identificação dos perfis de consumo para diversos tipos de mangote em vários locais distintos;
- Propor uma metodologia adequada para dimensionamento de sobressalentes para diversos perfis de consumo;
- Estimar a probabilidade de falha dos mangotes estudados;
- Aplicar metodologia adequada para o dimensionamento por perfil de consumo;
- Propor a melhor localização para armazenamento dos mangotes de forma a otimizar a logística.

1.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para elaboração deste trabalho, foram realizadas pesquisas bibliográficas, documentais, entrevistas e consultas a banco de dados de sistema de gerenciamento computadorizado de manutenção. Considerando o objetivo de estudar e aplicar metodologia para dimensionamento de sobressalentes, a primeira etapa consistiu em selecionar um tipo de equipamento que tivesse elevado impacto social, ambiental e econômico para que o trabalho tenha considerável relevância tanto no meio empresarial quanto acadêmico. Com isso é possível classificar a metodologia desta pesquisa como estudo de caso, dado que é destinada e aplicada em uma organização e usa de dados e documentos internos coletados para análise (VERGARA, 2013). Em termos de natureza, esta pesquisa enquadra-se como qualitativa e quantitativa pois se caracteriza pela coleta, quantificação de dados e tratamento estatístico de informações. A coleta dos dados foi através de análises bibliográficas e documentais (MIGUEL, 2012).

Após identificar um equipamento no qual não eram conhecidos estudos acadêmicos que proporcionassem a indicação da quantidade otimizada a se manter em estoque e possuem elevado custo de aquisição e armazenamento, foi iniciada a pesquisa para identificar a proporção dos possíveis impactos financeiros e sociais. Esta parte foi realizada através de consultas a órgãos governamentais como ANTAQ e ANP, bem como em outros tipos de publicações.

Uma vez identificada a relevância e o contexto do trabalho, foram pesquisados estudos que correlacionam com manutenção e sobressalentes. Além de pesquisar sobre dimensionamento específico sobre o equipamento estudado, foram analisadas fontes que tratam de dimensionamento e gestão de sobressalentes de outros materiais semelhantes, que apresentam elevado custo e consumo irregular. Também foram realizadas pesquisas sobre confiabilidade, pois foi um assunto bastante citado nas fontes consultadas.

Em complemento também foram realizadas consultas a outras empresas que operam e mantém equipamentos semelhantes. Estas empresas forneceram estudos internos que ajudaram a entender o funcionamento do sistema e reforçaram a importância.

Uma etapa importante foi a coleta dos dados de processos de compra para verificação da taxa de consumo. Para esta parte foi realizado levantamento no sistema informatizado corporativo de gerenciamento da manutenção. Primeiro foram identificados os códigos que correspondem a cada tipo de mangote no sistema e depois foram extraídas as datas de movimentação de cada um tanto de compras para consumo imediato quanto retiradas do estoque existente. Estes dados foram organizados, agrupados e calculados utilizando planilhas eletrônicas. Para facilitar alguns cálculos, como por exemplo a quantidade ótima de mangotes para atingir determinado valor na distribuição de Poisson, foi utilizado o recurso de programação via VBA (*Visual Basic Advanced*).

Outra etapa importante foi a coleta dos dados de falha para elaboração das análises de confiabilidade. Esta parte precisou de muita consulta aos registros das áreas, pois até o momento do início do estudo não eram controladas em sua maioria via sistema de gerenciamento da manutenção da empresa. Os controles com datas de instalação, das falhas, modos de falha e outras informações eram feitos localmente através de anotações em papéis e planilhas. A coleta e organização desses dados foi essencial para utilização de programa para cálculo da confiabilidade e dados de vida. Para estes cálculos foi utilizado o Weilbull ++.

Por fim, foram agrupados e analisados os dados coletados e os resultados dos cálculos, aplicando para atingir os objetivos do trabalho.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para uma boa compreensão do trabalho realizado, além da introdução e objetivos já apresentados, a dissertação é dividida em mais quatro capítulos, sendo eles: referencial teórico, modelo proposto, aplicação e resultados, além de conclusões e recomendações.

O capítulo 2, relativo ao referencial teórico é subdividido em quatro subtópicos. O primeiro deles situa o leitor no entendimento do que são os mangotes marítimos *offshore*. O tópico vai desde a concepção e tipos de terminais *offshore* até os tipos de mangotes utilizados.

Uma vez compreendendo a importância do estudo, apresentada no capítulo 1 e o que são os mangotes detalhados na primeira parte do capítulo 2, a segunda parte discorre sobre confiabilidade, trazendo conceitos e fórmulas importantes que serviram de base para desenvolvimento do modelo. A terceira parte aponta sobre a gestão de estoques sobressalentes, sua importância e resumo de alguns trabalhos recentes sobre o tema, fazendo ligação com o dimensionamento de sobressalentes que é o quarto e último subtópico do capítulo. Nele também são indicados trabalhos associados e as principais ferramentas escolhidas para aplicação no estudo de caso.

O capítulo 3 detalha cada etapa do modelo desenvolvido de forma prática e objetiva. Os passos são elencados de maneira que possam ser replicados facilmente, até mesmo em outros materiais diferentes de mangotes, mas que possuam perfil semelhante. Algumas considerações e limitações também são mostradas nesse capítulo.

O capítulo 4 traz a aplicação do modelo nos cinco principais terminais *offshore* do Brasil. São mostrados detalhes de cada um deles, como região geográfica, composição das linhas, estoque existente, estoque proposto, economia calculada e impactos positivos relativos ao nível de serviço através da aplicação do modelo.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, ligando ao cumprimento dos objetivos propostos e os principais resultados encontrados. Também é discorrido sobre futuros trabalhos e recomendações para novas aplicações do modelo desenvolvido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados conceitos importantes e necessários ao desenvolvimento desta dissertação. Os principais pontos abordados são: mangotes marítimos *offshore*, confiabilidade, gestão de estoques e dimensionamento de sobressalentes.

O tópico sobre mangotes marítimos expõe um resumo das características construtivas e de instalação desses componentes vitais para a transferência de petróleo e derivados entre instalações terrestres e navios tanque no mar, de forma a guiar o entendimento dos estudos e termos utilizados ao longo da aplicação do modelo proposto. Logo em seguida são expostos os principais conceitos de confiabilidade utilizados, de forma que seja possível entender os termos e conclusões dos resultados dos cálculos. Já o terceiro tópico mostra a base teórica da gestão de estoques e, por último o dimensionamento de sobressalentes. Todas essas bases teóricas são de suma importância para entender e replicar a aplicação do modelo proposto detalhado nos capítulos seguintes.

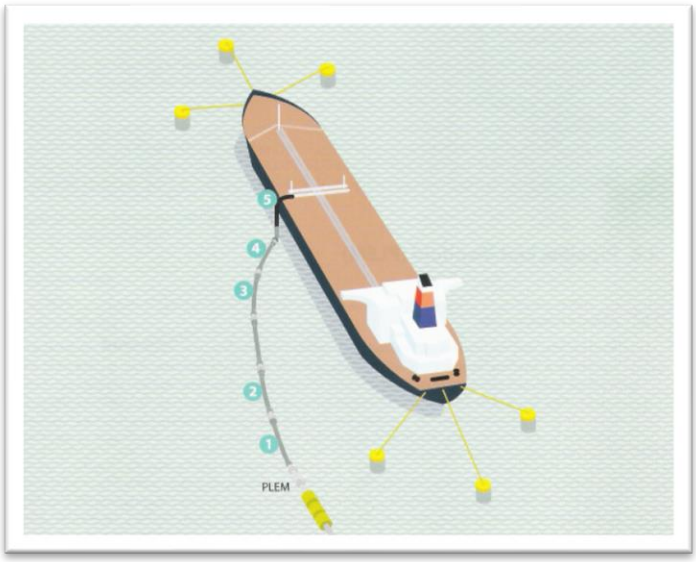
2.1 MANGOTES MARÍTIMOS *OFFSHORE*

Os principais terminais marítimos no Brasil são distribuídos em três tipos: operados por meio de píeres, de monoboias ou de quadros de boias. Os operados por quadros de boias e monoboias são conhecidos como terminais *offshore* (TRANSPETRO, 2021). Monoboias e quadros de boias são uma espécie de “terminal flutuante”, utilizados na amarração de navios-tanque para a operação de carregamento e descarregamento de petróleo e derivados.

Existem várias configurações de montagem para terminais *offshore*. Em geral, as principais configurações se dividem pela forma de ancoragem dos navios tanque. Os tipos mais comuns de ancoragem em ponto único (SPM) ou ancoragem em múltiplos pontos (MBM). O sistema de ancoragem em pontos múltiplos (MBM) proporciona menos flexibilidade para operação em áreas onde as condições ambientais são severas ao ponto de impossibilitar atracação ou onde os custos para instalação de um terminal com píer convencional ou SPM são muito elevados. Os MBM devem ser considerados em locais onde as ondas alcançam menos de 2 metros de altura. Para locais com condições ambientais mais agressivas é recomendada a utilização da formação de ancoragem em ponto único (SPM), pois é a mais flexível para movimentação e se adapta a uma gama maior de tipos de navios tanque. Em contrapartida, terminais SPM possuem custo superior aos MBM (OCIMF, 2010).

A Figura 3 apresenta um exemplo de configuração de mangotes MBM também chamado de quadros de boias, segundo exemplo do guia de fabricação e compra de mangueiras para amarrações marítimas (OCIMF, 2010). Nela é possível notar que maior parte dos mangotes ficam submarinos e somente o que faz a conexão com o navio fica visível acima do nível do mar.

Figura 3 - Exemplo de configuração de mangotes em quadros de boias



Fonte: Adaptado de OCIMF (2010).

A Tabela 1, apresenta o detalhe dos tipos de mangotes que compõem uma linha de quadros de boias e suas funções. Os números correspondem aos mangotes mostrados na Figura 3.

Tabela 1 - Exemplo de tipos de mangotes para quadros de boias

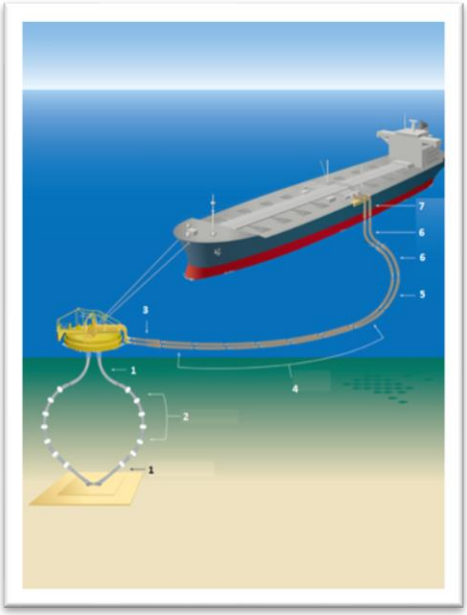
N°	DESCRIÇÃO RESUMIDA	USO
1	PLEM *End* (Conexão com o PLEM)	Conexão ao duto rígido submarino que que segue para o terminal
2	Meio de Linha	Principal componente do sistema de mangotes submarinos.
3	Redutor	Conexão entre mangotes de diâmetros diferentes.
4	*Tail*	Menor diâmetro que o meio de linha para conexão com a *tanker rail*.
5	*Tanker Rail*	Conexão com o Navio

Fonte: Adaptado de OCIMF (2010).

No SPM, o navio-tanque é amarrado a uma única boia por um ou dois cabos. A própria boia é amarrada ao fundo do mar por uma ou mais linhas de ancoragem e a transferência de carga entre o navio-tanque e o *Pipeline End Manifold* (PLEM) do fundo do mar é feita por meio de um sistema de mangueira flexível e possui um sistema de rolamentos que permite que um navio-tanque atracado veleje em torno do SPM. Essa característica dá uma vantagem operacional em relação a píeres fixos ou ancoragens de múltiplos pontos quando avaliados em função de condições marítimas. Os tipos mais comuns de ancoragem de ponto único (SPM) usados em terminais de navios-tanque são *Catenary Anchor Leg Mooring* (CALM) e a *Single Anchor Leg Mooring* (SALM). O tipo SALM consiste em uma boia de amarração presa por uma única linha de ancoragem, enquanto o CALM possui uma boia flutuante onde o navio é ancorado e essa boia é presa ao fundo do mar por múltiplas âncoras. Os SPMs são particularmente adequados para lidar com grandes navios-tanque em locais *offshore* (OCIMF, 2015). Dos cinco principais terminais *offshore* do Brasil, três são do tipo SPM com ancoragem CALM, também conhecidos como monoboias e dois do tipo MBM, conhecidos como quadros de boias.

A Figura 4 apresenta um exemplo de configuração de mangotes em monoboia com sua parte submarina do tipo lanterna chinesa. Nela é possível notar que parte dos mangotes ficam acima do nível do mar, em geral a maioria, e a outra parte fica submarina ligando o PLEM até a boia.

Figura 4 - Exemplo de configuração de mangotes em monoboias



Fonte: Adaptado de YOKOHAMA (2021).

A Tabela 2, apresenta o detalhe dos tipos de mangotes que compõem uma linha de monoboia e suas funções. Os números correspondem aos mangotes mostrados na Figura 4.

Tabela 2 - Exemplo de tipos de mangotes para monoboias

N°	DESCRIÇÃO RESUMIDA	USO
1	Lanterna chinesa (Extremidade)	Mangote submarino reforçado para conexão nas extremidades (duto que segue para o terminal e monoboia)
2	Lanterna chinesa (Meio de Linha)	Mangote submarino com colares de localização.
3	First Off Buoy (FOB)	Mangote parcialmente flutuante para conexão com a monoboia
4	Meio de Linha	Principal componente do sistema de mangotes submarinos.
5	Redutor	Conexão entre mangotes de diâmetros diferentes.
6	Tail	Menor diâmetro que o meio de linha para conexão com a tanker rail.
7	Tanker Rail	Conexão com o Navio

Fonte: Adaptado de OCIMF (2010).

As operações de transferência e armazenamento possuem diversas normas de segurança e construtivas, bem como entidades internacionais para estudos e recomendações de boas práticas e diretrizes. Dentre as publicações para a segurança das operações se destaca o ISGOTT – *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals* (OCIMF, 2020). Este guia resume normas e orientações de segurança tanto para os navios petroleiros, quanto para terminais aquaviários e as interfaces entre navios e terminais. A principal entidade que reúne as diretrizes e normativas para os terminais marítimos é a OCIMF – *Oil Companies International Marine Forum*.

Os mangotes marítimos são mangueiras a base de borracha, reforçadas internamente por arame helicoidal e com flanges na extremidade utilizados para transporte de granéis líquidos. As características destes equipamentos podem variar em função da posição em que são instalados na linha, do diâmetro, do comprimento, da pressão de operação, da continuidade elétrica, entre outros fatores (OCIMF, 2010).

No caso dos mangotes *offshore*, sua aplicação se dá para transferência de petróleo e seus derivados entre terminais oceânicos e navios petroleiros distantes da costa. Tais terminais

são necessários por diversos motivos, dentre eles as condições de mar não permitirem atracação de navios em píeres ligados à terra e condicionantes ambientais que impedem a instalação de portos em terra.

> "Os sistemas de mangotes são partes vulneráveis do berço e devem ser cuidados em seu projeto, operação e manutenção. Todos os mangotes devem ser projetados, construídos, testados e manuseados conforme Guia para Manufatura e Compra de Mangotes para Amarrações O*ffshore* e as recomendações de manufatura" (OCIMF, 2010 p. 36)

Nos terminais com monoboias têm-se as linhas de mangotes flutuantes que ligam o navio à monoboia, além das linhas de mangotes submarinos que ligam a monoboia ao PLEM – *Pipeline End Manifold*. Os PLEM são estruturas que fazem a ligação entre os mangotes e os dutos submarinos que se conectam às estruturas de armazenamento em terra. A Figura 5 mostra um terminal com monoboia e um navio atracado. Nela nota-se a linha de mangotes flutuantes e é possível ter noção do possível impacto ambiental em caso de rompimento da linha.

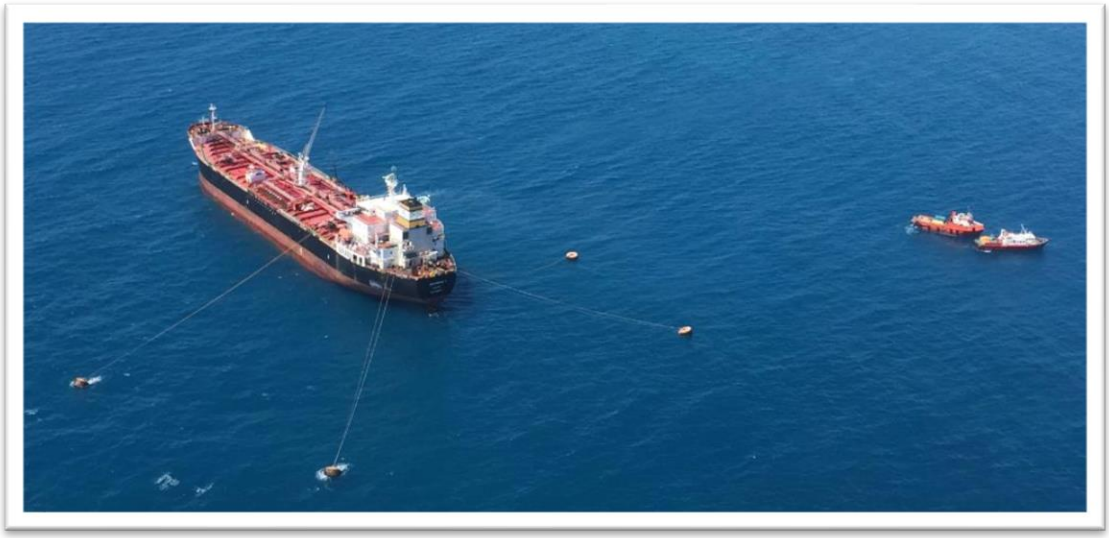
Figura 5 - Navio atracado em terminal de monoboia

Fonte: O autor

Nos terminais com quadros de boias têm-se apenas as linhas de mangotes submarinos que fazem a interligação do navio diretamente com o PLEM. As linhas são compostas por

diversos mangotes, de forma a atingir o comprimento final desejado para as operações. A Figura 6 mostra o esquema de atracação por quadros de boias, com destaque para conexão da linha de mangotes com o navio tanque e algumas boias com seus respectivos cabos de amarração. Nota-se a distância do navio para a costa e o possível impacto ambiental em caso de vazamento de petróleo. Isso torna esta operação muito arriscada e demanda diversas medidas de controle e equipamentos, dentre eles os mangotes, confiáveis.

Figura 6 - Navio atracado em terminal de quadros de boias



Fonte: O autor

Os mangotes possuem papel significante no transporte de petróleo e derivados. Eles possuem entre 10 e 12 metros, aproximadamente, e possuem muitas camadas para proporcionar a flexibilidade necessária, porém mantendo a máxima resistência possível (ZHOU, et al., 2018).

Amaechi *et al*. (2021) apresentam uma revisão sobre estudos voltados para projetos mecânicos de mangotes marítimos, destacando danos por questões de movimentação como torções, dobras e cargas de esmagamento. No estudo os autores destacam a importância da inspeção regular desde a construção, passando pela instalação até os estágios de operação. Os autores afirmam também que a maior parte das falhas são percebidas via inspeções visuais e se apresentam na primeira camada das carcaças dos mangotes e apresenta um resumo dos principais modos de falhas obtidos através da análise de 40 sistemas de carregamentos com mangotes marítimos.

Existem diversas pesquisas e artigos relacionados a análises e cálculos de resistência mecânica de mangotes, dentre eles os feitos por Zhou (2018) e Tonatto (2018) ou os dois artigos feitos por Amaechi *et al*. em 2021. Este autor também apresenta várias outras publicações voltadas para análises estruturais de mangotes offshore.

Muitos dos artigos recentes citam outros mais antigos em geral no sentido de analisar os efeitos do mar sobre os mangotes, novas composições de materiais para camadas ou métodos construtivos mais avançados. Não foram encontrados estudos no sentido de definir a melhor política de estoque de mangotes sobressalentes, sendo este o primeiro com esse objetivo.

Estes equipamentos são críticos para a operação de modo que é necessário possuir certa quantidade em estoque, visando manter a disponibilidade operacional dos terminais, porém o alto valor de aquisição demanda que haja definição otimizada de quanto deve ser mantido em estoque. O principal guia para fabricação e teste de mangotes é o Guia para Fabricação e Teste para Amarração Offshore, mais conhecido pela sua versão em inglês: *Guide to Manufacturing and Purchasing Hoses for Offshore Moorings* – GMPHOM (OCIMF, 2009). O controle proposto se baseia na vida útil dos mangotes conforme critérios estabelecidos pelo guia, onde são exigidos testes e inspeções de integridade para certificação de atendimento aos requisitos normativos. A vida útil média dos mangotes é de 5 anos, porém existem casos com duração de até 20 anos (TONATTO, et al., 2018). O registro adequado do histórico e ajuda nas análises de confiabilidade, que são essenciais para um bom gerenciamento dos ativos em questão.

2.2 CONFIABILIDADE

Segundo Blischke e Murthy (2003), a confiabilidade de um produto ou sistema é a probabilidade que o item tem de desempenhar uma função, em determinada condição e por um intervalo específico de tempo. Os autores também afirmam que a modelagem da confiabilidade envolve a seleção de um modelo, estimação de parâmetros e validação, de forma que o processo de modelagem inicie de forma qualitativa.

A NBR 5462, que trata de confiabilidade e mantenabilidade, define falha como: “Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida” (ABNT, 1994 p. 3). Desta forma, nota-se que a probabilidade de falha é um conceito complementar ao da confiabilidade.

As distribuições estatísticas foram formuladas para modelar matematicamente ou representar determinado comportamento. A função de densidade de probabilidade é uma função matemática que descreve a distribuição e pode ser representada tanto matematicamente quanto em um gráfico onde o eixo das abscissas representa o tempo. As distribuições mais comumente utilizadas para representar os dados de vida de equipamentos ou sistemas, também chamadas de distribuição de dados de vida ou distribuição de vida, são Weilbull, lognormal, normal e exponencial. Cada analista deve identificar a distribuição mais apropriada ao modelo particular de dados que esteja trabalhando (RELIASOFT, 2015). Por outro lado, Fogliatto e Ribeiro (2011) afirmam que a distribuição normal tem pouca aplicabilidade em estudos de confiabilidade, sendo as quatro principais para representar os tempos até a falha: Exponencial, Weibull, Gama e Lognormal.

Um dos atributos da confiabilidade é o tempo até a falha, mais conhecido pela sua sigla em inglês TTR – *Time To Failure*. Fogliatto e Ribeiro (2011) definem o TTR como o tempo transcorrido desde o momento em que uma unidade inicia a sua operação até a primeira falha. Os autores também indicam que o tempo até a falha nem sempre é considerado como uma variável contínua, pois pode apresentar um comportamento discreto, como exemplo o número de ciclos até a falha. Porém, para este trabalho o tempo é adotado como variável contínua. Seguindo esse pressuposto, os autores indicam a função da distribuição da probabilidade de falha representada na Equação 1:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u)du \, , sendo\ t > 0 \qquad (1)$$

Onde F(t) é a proabilidade de um item falhar numa missão de duração igual ou menor a t.

Fogliatto e Ribeiro (2011) também complementam com a definição da função de densidade de probabilidade f(t) conforme Equação 2:

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt}F(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{P(t < T \leq t+\Delta t)}{\Delta t} \qquad (2)$$

Outra função importante exposta pelos autores é a da confiabilidade aplicada em função do tempo que pode ser expressa como mostrado na Equação 3:

$$R(t) = P(T > t) \qquad (3)$$

Comparando as Equações 3 e 1 é possível observar que o R(t) é complementar ao F(t), pois o primeiro é a probabilidade de T ser menor ou igual a t, enquanto o segundo é a probabilidade de T ser maior que t. Logo, combinado as duas fórmulas é possível deduzir a Equação 4:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - f(u)du = \int_t^{+\infty} f(u)du \quad (4)$$

> "As distribuições de probabilidade usadas em estudos de confiabilidade podem apresentar até três parâmetros, classificados em parâmetros de (a) localização, (b) escala e (c) forma. Parâmetros de localização são usados para deslocar a distribuição de probabilidade ao longo do eixo do tempo, sendo também conhecidos como parâmetros de vida mínima ou de garantia" (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011 p. 24).

A citação acima aponta conceitos importantes para entender como utilizar as distribuições de probabilidade nos estudos de confiabilidade. Uma das atividades chave no processo é justamente como estimar os parâmetros e tempos até a falha.

Cada modo de falha e o consequente comportamento da taxa de falhas podem ser representados por uma expressão analítica, as quais são associadas com a distribuição da densidade de probabilidade em função do tempo das respectivas falhas. Existem casos onde as falhas são aleatórias, sendo esse um dos modelos mais usados para descrever fenômenos de confiabilidade no mundo (ALMEIDA, et al., 2015). As falhas aleatórias podem ser modeladas pelas Equações 5, 6 e 7:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (5)$$

A Equação 5 representa a distribuição da densidade de probabilidade de falhas, onde λ é uma constante chamada de taxa de falhas. As funções abaixo representam a distribuição acumulada de falhas e a confiabilidade, respectivamente:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (6)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Almeida *et al.* (2001) afirmam que o dimensionamento de sobressalentes deve considerar o quantitativo de peças de reposição e que este se dá pelo número de itens requisitados. Os autores correlacionam o número de itens com o número de falhas, ou seja, da confiabilidade do equipamento. Também é afirmado que o dimensionamento de sobressalentes deve ocorrer na fase de vida útil do equipamento, também conhecida como fase operacional. Para equipamentos em que a taxa de falhas é constante ao longo do tempo, a função de probabilidade que modela a confiabilidade é a exponencial (ALMEIDA, et al., 2001). Neste tipo de distribuição, as falhas se apresentam de forma aleatória sem influência de desgaste. Os autores também afirmam que a taxa de falhas λ é o inverso do tempo médio entre falhas (MTBF) exclusivamente no modelo exponencial. O MTBF é o tempo decorrido entre o fim da última falha e o início de uma nova falha. Sendo assim, quando o tempo decorrido é igual ao MTBF a confiabilidade R(t) é igual a 36,8% e a probablidade acumulada de falha é de 63,2%, conforme demonstrado a seguir, utilizando a Equação 7:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$R(t) = e^{-\lambda \times \frac{1}{\lambda}}$$

$$R(t) = e^{-1}$$

$$R(t) = 0{,}368 \; ou \; 36{,}8\%$$

Outra distribuição importante para a modelagem de falhas é a Weibull. Almeida *et al.* (2015) afirmam que a distribuição Weibull é amplamente utilizada nas análises de confiabilidade e podem assumir diversas formas, sendo flexível para uso com vários tipos de dados. A função de densidade de probabilidade é expressa conforme a Equação 8:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left[\frac{t}{\eta}\right]^{\beta-1} e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]} \qquad (8)$$

Onde:

β – é o parâmetro de forma;

η – é o parâmetro de escala.

Os autores também destacam as importantes relações abaixo:

β = 1, a taxa de falha é constante, sendo um caso especial da função exponencial;

β > 1, a taxa de falhas é crescente. Neste caso, indica que as falhas aumentam em função do tempo;

β < 1, a taxa de falhas é decrescente. Indica falhas prematuras no início da operação e que tendem a diminuir em função do tempo.

Almeida *et al.* (2015) também concluem que a função confiabilidade para a distribuição Weibull pode ser expressa pela Equação 9:

$$R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]} \quad (9)$$

E consequentemente pela Equação 10:

$$F(t) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]} \quad (10)$$

A Reliasoft (2015) mostra uma caracaterística interessante da distribuição Weibull quando o tempo é igual ao parâmetro de escala (η). Sempre que esses parâmetros coincidem, a probabilidade acumulada de falha F(t) é de 63,2%. Assim ao comparar diferentes parâmetros de escala, nota-se que quanto menor o η, mais rápido se atinge o patamar de 63,2% de probabilidade acumulada de falha. Isso quer dizer que a confiabilidade R(t) neste ponto é de 36,8%. Abaixo está a representação das etapas do cálculo utilizando a Equação 10.

$$F(t) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right]}$$

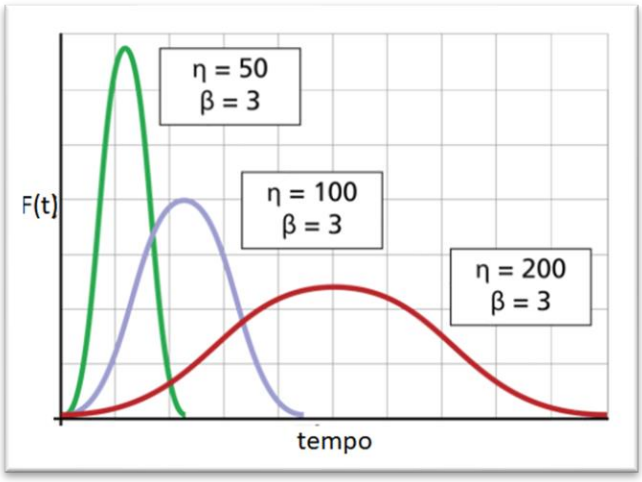
$$F(t) = 1 - e^{[-(1)^{\beta}]}$$

$$F(t) = 1 - e^{-1}$$

$$F(t) = 0{,}632 \; ou \; 63{,}2\%$$

A Figura 7 mostra a comparação de gráficos com o mesmo parâmetro de forma (β) com variação do parâmetro de escala (η). Ao observar o gráfico é possível notar que quanto menor é o η, mais concentradas no início do tempo de verificação estão as falhas.

Figura 7 - comportamento de f(t) ao variar o parâmetro de escala em distribuição Weibull.



Fonte: Adaptado de Reliasoft (2015).

Além dos parâmetros de forma e de escala é possível também aplicar o parâmetro de localização na distribuição Weilbull, comumente representado pela letra grega gama (γ) (RELIASOFT, 2015).

Uma vez expostas as principais distribuições é necessário verificar como escolher a melhor que se enquadra aos dados de vida dos itens estudados. Fogliatto e Ribeiro (2011) indicam duas formas. A primeira é gráfica, através de análises de histogramas de frequência e papéis de probabilidade. Nesta forma é realizada a comparação com distribuições tabeladas conhecidas, constatando similaridades. A segunda é a analítica através de testes de aderência.

Dentre os testes analíticos mais utilizados estão o qui-quadrado e o Kolmogorov-Smirnov. Ambos são estruturados com testes de hipóteses em que a nula (H_0) indica que os dados seguem a distribuição hipotetizada.

Na sequência, os autores expõem mais detalhes sobre a aplicação do teste pelo modelo qui-quadrado. A expressão do teste se dá pela Equação 11:

$$X_0^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \qquad (11)$$

Onde:

k – Número de classes de distruibuição das n observações de tempos de falha. Em geral, k é dado por $\sqrt{n}$;

O_i – Frequência observada na i-ésima classe;

E_i – Frequência esperada caso a população amostrada siga a disribuição de probabilidade hipotetizada em H_0;

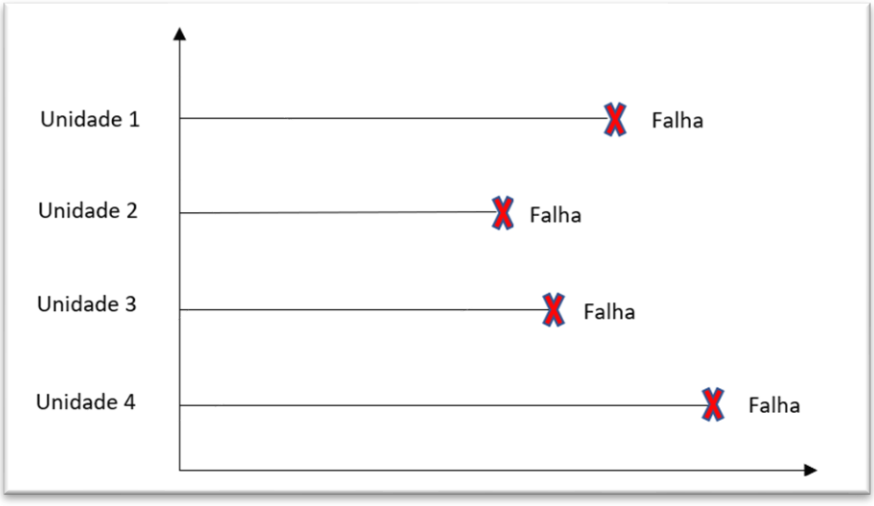
Os mesmos autores descrevem o teste Kolmogorov-Smirnov da seguinte forma:

> "O teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) é implementado de maneira análoga, entretanto considerando frequências acumuladas ao invés de frequências absolutas (isto é, a frequência registrada em um intervalo de classe é acumulada nos intervalos seguintes), utilizando melhor a informação contida na amostra. O KS é um teste não-paramétrico, de uso mais adequado em situações nas quais poucos dados amostrais estão disponíveis" (FOGLIATTO E RIBEIRO, 2011 p. 34).

A Reliasoft (2015), mostra também formas de estimativa de parâmetros, definindo esta atividade como o processo de utilização de dados amostrais para estimar os parâmetros da distribuição selecionada. Dentre os métodos destacados estão a Regração de Classificação (ou Mínimos Quadrados), Estimativa de Máxima Verossimilhança e Métodos de Estimativa Bayesiana. Para a melhor aplicação da estimativa de parâmetros é importante entender o tipo de dados com os quais se está trabalhando. Abaixo são apresentados resumos de três tipos de dados:

- Dados completos: Dados que apresentam o tempo exato de quando ocorreu a falha. Em geral, componentes com esta característica possuem falha evidente. A Figura 8 representa graficamente esse tipo de dado.

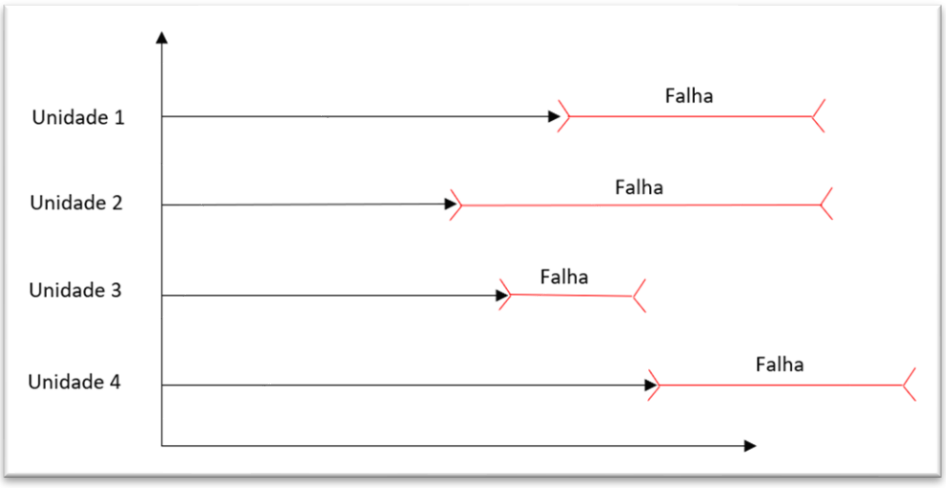
Figura 8 - Esquema de dados completos.



Fonte: O autor

- Dados em intervalos: Dados que apresentam o intervalo de quando ocorreu a falha. Itens com essa característica, em geral, possuem falhas ocultas que podem ser descobertas através de testes e inspeções. Ao testar e perceber que o componente falhou, o momento exato não é possível estimar, porém pode-se afirmar que a falha ocorreu entre a última inspeção e a atual. A Figura 9 resume a representação deste tipo de dado.

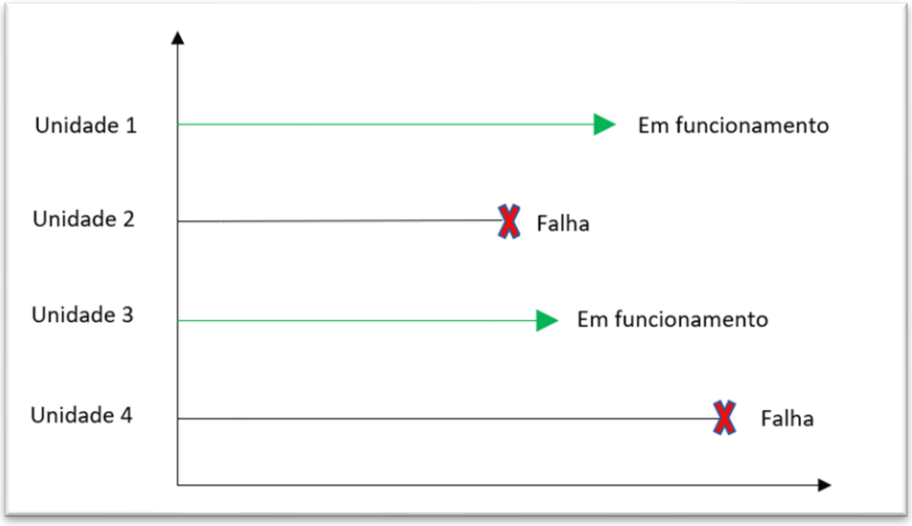
Figura 9 - Esquema com dados em intervalos.



Fonte: O autor

- Dados censurados: Dados referentes aos itens que no momento da análise ainda estavam funcionando adequadamente. Este caso é um híbrido onde no momento dos testes o item ainda está em funcionamento. A Figura 10 representa esse tipo de dado.

Figura 10 - Esquema com dados censurados.



Fonte: O autor

Não existem muitos estudos publicados sobre confiabilidade em mangotes marítimos *offshore*. A empresa Yokohama (2010), que é fabricante de mangotes, realizou uma análise de confiabilidade para estimar o tempo de vida de mangotes submarinos e comparou com os tempos de testes propostos pelo OCIMF. Mais recentemente, a empresa OCP Ecuador (2018) também realizou uma análise para extensão do tempo de vida de mangotes marítimos para definição de tempo ótimo de substituição e atendimento da norma ISO 55.000 que rege a gestão de ativos. O estudo foi dividido em duas partes. A primeira avaliando o ciclo de vida dos ativos offshore e a segunda para valoração do risco absoluto destes mesmos equipamentos. O estudo concluiu que a análise do ciclo de vida e o gerenciamento de risco são peças-chave para geração de economia para companhia. A combinação desses dois fatores se mostra como ferramenta poderosa para tomadas de decisão relativas à extensão de vida de mangotes marítimos offshore.

Apesar de haver estudos de confiabilidade pontuais em empresas sobre mangotes *offshore*, existem poucas publicações em periódicos sobre o tema. A pedido da *Petroleum Safety Authority Norway* (PSA), que é o órgão competente da Noruega para assuntos de segurança no setor de petróleo, a empresa 4Subsea elaborou um relatório intitulado *State of the art Bonded Flexible Pipes* (4SUBSEA, 2018) onde foi avaliado o estado da arte dos principais dutos flexíveis e mangotes utilizados na indústria de petróleo e gás. No que se refere à confiabilidade, o relatório afirma que em geral o resultado dos tipos aprovados é bom. As falhas registradas são relativas ao uso de mangotes de baixa qualidade, sendo operados em

condições diferentes do projeto ou manutenção inadequada. Estes fatores não comprometem a confiabilidade intrínseca dos equipamentos, porém comprometem a operação nos terminais e a demanda por sobressalentes. No mesmo documento também é exposto que estudos para extensão de tempo de vida dos mangotes estão mais frequentes do que antigamente. Uma das recomendações do relatório é a elaboração de programa de inspeção baseado em confiabilidade e risco (4SUBSEA, 2018).

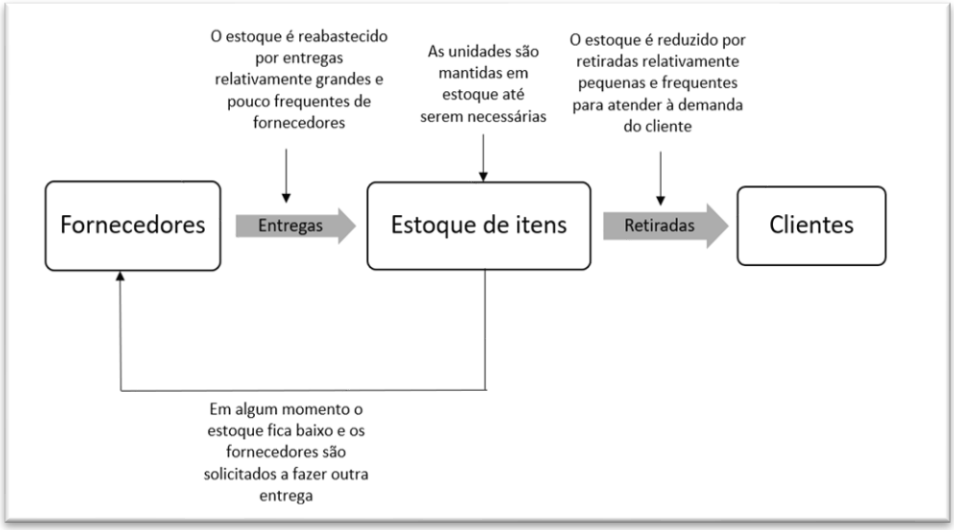
Akyuz e Celik (2016) realizaram análise de confiabilidade humana na operação de monoboias que analisam falhas que podem contribuir para o rompimento de mangotes. Eles concluíram que apesar de haver várias regulações e regras para redução de acidentes em terminais offshore, a segurança e confiabilidade em nível operacional ainda não possuem muitas pesquisas. Gao *et al*. (2018) também analisaram mangotes sob um ponto de vista da identificação dos modos de falha de mangotes principalmente relativos à pressão interna.

2.3 GESTÃO DE ESTOQUES

Todas as organizações possuem estoque, segundo Waters (2003). Esta afirmação por si já indica a importância de se estudar a melhor forma de gerir esses sobressalentes. O autor define estoque como itens que são mantidos guardados para uso futuro. Hu *et al*. (2018) afirmam que peças de reparo são itens comuns que compõem estoques e são necessárias para manter o funcionamento de equipamentos. Tais peças são mantidas armazenadas para reduzir as consequências das falhas, de forma que são consideradas muito importantes para a disponibilidade dos equipamentos com o menor custo possível. Os autores também afirmam que a classificação das peças de reparo permite a identificação das mais importantes para que sejam adotadas diferentes estratégias de ressuprimento. Dentre as disciplinas para apoio ao gerenciamento das peças de reparo estão a simulação, onde os dados são organizados e simplificados para melhor entendimento e melhoria do sistema; classificação multicritério onde as peças de reparo são classificadas em diferentes tipos; previsão, onde os dados são trabalhados de forma a prever as quantidades a serem utilizadas no futuro, sendo este um dos principais desafios; otimização, nesta disciplina, com o objetivo da maior disponibilidade dos ativos físicos com o menor investimento, são utilizadas técnicas para balancear o investimento e o nível de serviço para a quantidade ótima de sobressalentes (HU, et al., 2018). A Figura 11 mostra o fluxo básico de um estoque. A depender do tipo de empresa, as afirmações

apresentadas mudam um pouco, porém representam bem o comportamento e pontos de atenção do processo.

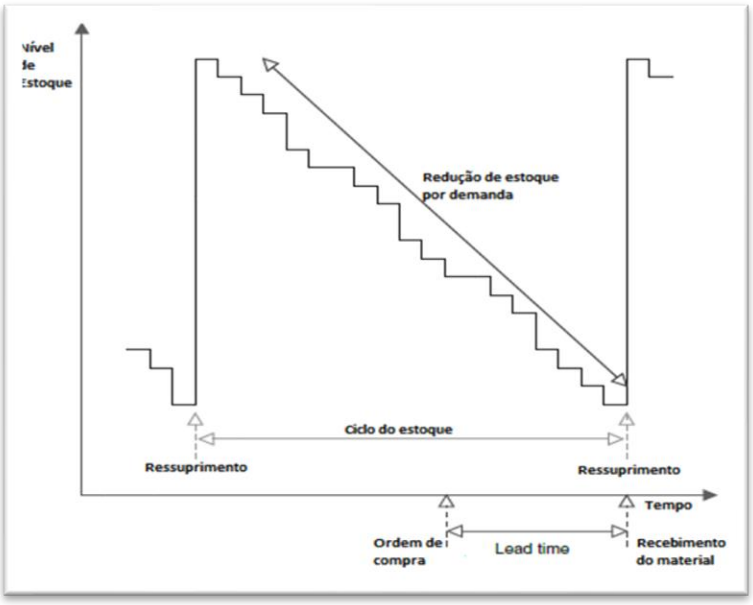
Figura 11 - Uso típico de estoque



Fonte: Adaptado de Waters (2003)

O ciclo de um estoque é representado na Figura 12, onde se inicia com uma certa quantidade de materiais armazenados que vai diminuindo na medida em que o consumo é demandado. Para uma gestão adequada dos estoques é importante monitorar os dados que compõem o seu ciclo. O primeiro é a quantidade ótima que deve ser mantida armazenada, a segunda é o perfil de consumo no qual os materiais são demandados e o terceiro é o *lead time*, que representa o tempo entre solicitar e receber o material. Apesar de graficamente parecer simples, nem sempre o perfil de consumo é regular e facilmente previsível. Existem perfis de consumo irregulares que dificultam o cálculo do nível ideal de sobressalentes, resultando em quebra de estoque, ou seja, falta de material quando demandado (WATERS, 2003).

Figura 12 - Nível de estoque em um ciclo típico



Fonte: Adaptado de Waters (2003)

Outro ponto que deve ser analisado quando se trata de gestão de estoques em empresas com múltiplas localidades é onde os materiais devem ser armazenados. Para o caso de estoque de peças de reposição para manutenções, a localização dos sobressalentes possui influência direta nos custos. Nguyen *et al*. (2019) definem que a estrutura de custo de manutenção conforme Equação 12:

$$C_m = C_i^{sp} + C_{ij}^{dt} + C_i^{lb} + S_{ij}^0 + S_i^{tr} \quad (12)$$

Onde:

C_m - Custo total da manutenção;

C_i^{sp} - Custo de aquisição das peças de reposição;

C_{ij}^{dt} - Custo de parada da instalação durante a manutenção do componente *i;*

C_i^{lb} - Custo da mão de obra de manutenção;

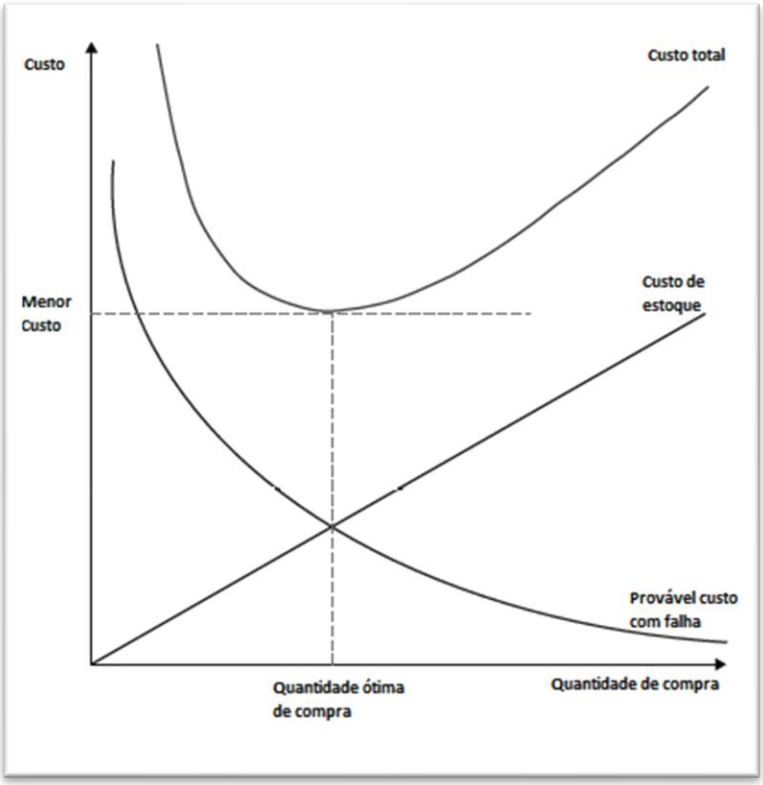
S_{ij}^0 - Custo de preparação da instalação *j* para manutenção do componente *i*;

S_i^{tr} - Custo de transporte do componente *i*;

Caso o componente seja armazenado em instalação muito distante da qual ele tenha de ser utilizado, o custo com transporte se torna demasiadamente elevado, bem como o custo de instalação parada, caso seja uma necessidade oriunda de falha.

Waters (2003) cita que a avaliação da quantidade otimizada em estoque leva em consideração os custos para manter os sobressalentes e os custos relativos à consequência da falta deles. Outros custos como os custos de processamento da compra, por exemplo, também são considerados. De forma resumida, a Figura 13 mostra a melhor estratégia referente à decisão da quantidade ótima de materiais a se manter em estoque. O ponto ótimo se dá quando a soma do que do custo para manter o material armazenado e o custo da falha é o menor possível. Importante destacar que o custo da falha deve levar em consideração não somente o custo de reposição do componente, mas também outros custos, como indicado na Equação 12 e lucro cessante pela parada de fornecimento do material ou serviço.

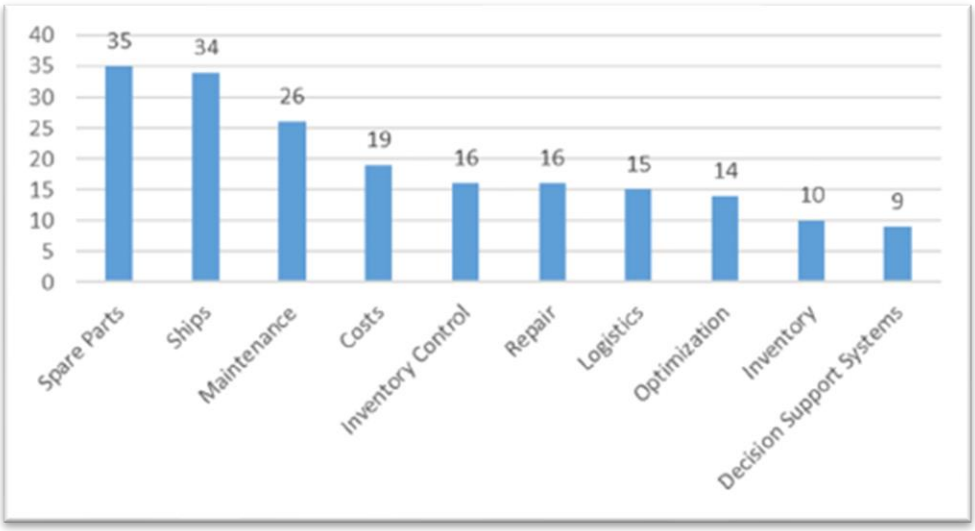
Figura 13 - Variação dos custos em função da quantidade comprada



Fonte: Adaptado de Waters (2003)

A literatura sobre gestão de estoques é bastante ampla em diversas áreas. Mouschoutzi e Ponis (2022) fizeram uma revisão da literatura para compreender o gerenciamento da logística das peças de reparo sobressalentes na indústria marítima. O estudo mostra que, quando se trata de área, a de engenharia representa 48%, seguida da ciência da computação e outros com 13%. Quando segredado por palavra-chave, o artigo apresentou a distribuição representada na Figura 14:

Figura 14 - Número de publicações por palavra-chave



Fonte: Mouschoutzi e Ponis (2022)

Apesar do artigo de Mouschoutzi e Ponis (2022) fazer uma revisão sobre os o gerenciamento de logística na indústria marítima, não há indicação específica de aplicação com mangotes. O estudo conclui que uma cadeira de suprimentos eficiente e o gerenciamento de logística para sobressalentes marítimos é inegavelmente uma disciplina complexa que impõe desafios significantes para quaisquer companhias. Isso resulta em poucos estudos na área e os existentes são muito voltados para casos específicos.

Achamrah *et al.* (2022) apresentaram um artigo sobre o roteamento de peças de reposição em situação onde os materiais de substituição são aplicáveis em várias unidades de uma mesma companhia na qual existe uma central de manutenção que distribui os sobressalentes entre unidades geograficamente dispersas, indicando um modelo de apoio a decisão na qual é possível indicar uma melhor forma de gerenciar os itens sobressalentes, minimizando o custo com estoque. O artigo apresenta uma ferramenta computacional que considera o custo do transporte, capacidade de armazenamento, distância entre instalações dentre outras diversas variáveis.

Hanbali *et al.* (2022) estudaram o fornecimento de peças de reposição com controle de qualidade de entrada e erros de inspeção na manutenção baseada em condições no qual consideram custos de reposição e da falta de materiais e seus impactos na manutenção. Os autores apresentam um estudo de caso no qual houve redução de 22% dos custos de manutenção através da inspeção dos componentes e identificação de defeitos.

Rego e Mesquita (2011) fizeram uma análise sobre controle de estoque de peças de reposição. O trabalho mostra a importância de buscar a previsibilidade da demanda, apesar de a maioria ser esporádica e com vários períodos com ausência de demanda. Assim como Bertoldo e Júnior (2013), Rego e Mesquita (2011) mostram como dividir os perfis de consumo em quadrantes e um guia para decidir o que deve ser estocado ou não.

Outro artigo que mostra a importância de uma boa base de dados de controle de peças de reposição foi desenvolvido por Auweraer *et al.* (2021). O estudo analisa o valor de diferentes fontes de informação para previsão de demanda de peças de reposição e do controle de estoque. Os autores também fazem uma ligação da confiabilidade das peças com a demanda de sobressalentes. Na conclusão, dentre outros pontos de destaque, indicam formas de coleta e integração de dados para prover um maior valor e otimização de custos.

A relação entre manutenção, confiabilidade e otimização da provisão de peças de reparo também é apresentada no artigo desenvolvido por Zhu e Zhou (2022). No artigo é proposta uma política de reposição de peças em sistemas de fabricação com estágios em série e paralelo. O estudo trabalha com peças tanto para manutenções preventivas quanto corretivas correlacionando as quantidades em estoque com custos para obter valores otimizados.

Sachs, Helber e Kiesmüller (2022) estudaram sobre política de reposição de estoque para linhas de fluxo com baixa confiabilidade, destacando o dimensionamento de sobressalentes críticos. O trabalho estuda um modelo Markoviano de uma linha de fluxo estocástico de um produto simples. O estudo mostra um algoritmo para a definição da quantidade de materiais em estoque com foco principal na disponibilidade dos ativos, sem levar em consideração os custos para manter o estoque.

Zadeh e Rossetti (2020) apresentaram um artigo no qual avaliam métodos para provisionamento de peças de reposição em companhias que possuem elevado número de itens com baixa demanda e múltiplos tipos de ambientes, agrupando e reduzindo o número de sobressalentes. A análise apresenta métodos de fácil aplicação com excelentes resultados. O trabalho mostra também políticas para itens diferentes e similares.

Um outro artigo que possui contribuição importante para condução de estudos sobre gerenciamento de estoques em um complexo industrial petroquímico com mais de 60 plantas é o feito por Dekker e Bayindir (2004). O estoque total possuía mais de 27 milhões de euros em materiais divididos em 22 pequenos centros de estocagem. Os autores expõem no estudo de caso como classificar e analisar estatisticamente o perfil de uso dos materiais e mostram também como configurar e pesquisar em empresas que usam o sistema de gerenciamento SAP R3. Wang *et al*. (2018) também trabalham com sistemas geograficamente dispersos e afirmam

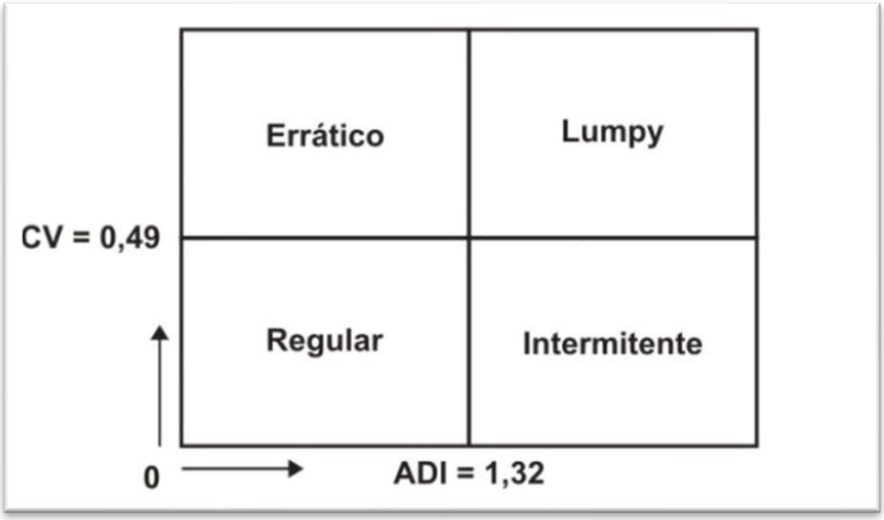
que a logística de peças sobressalentes possui função primordial no processo de manutenção. Eles mostram que para identificar o melhor lugar para armazenar os sobressalentes deve ser feito conforme a distribuição do consumo dos materiais de forma a otimizar a logística. Vários outros trabalhos mostram a importância e como realizar a melhor gestão dos sobressalentes e para que seja eficiente, o dimensionamento do que deve ser armazenado é primordial.

2.4 DIMENSIONAMENTO DE SOBRESSALENTES

O dimensionamento adequado das peças de reparo sobressalentes em uma companhia representa uma importante etapa no gerenciamento da manutenção. Enquanto de um lado a compra de sobressalentes a mais do que se precisa proporciona um aumento de custos, do outro a compra a menos aumenta a chance de custos atrelados a ações emergenciais e lucro cessante (ARONIS, et al., 2004). O planejamento e decisões sobre peças de reposição envolvem objetivos multidimensionais, tais como custos, lucratividade, confiabilidade, disponibilidade e probabilidade de quebra de estoque e tais objetivos apresentam conflitos, além disso os materiais devem estar disponíveis na quantidade necessária e no momento adequado. O dimensionamento de peças de reparo é bem mais complexo do que estoque de produção, pois precisa de tomar como base taxas de falhas ou projeto de confiabilidade do sistema (ALMEIDA, et al., 2015).

Para avaliar o perfil de consumo dos materiais, Bertolde e Junior (2013), afirmam que os parâmetros CV e ADI são internacionalmente reconhecidos e utilizados, sendo definidos como: CV - Coeficiente de variação: desvio-padrão da demanda dividido pela demanda média e ADI - intervalo médio de tempo entre duas demandas: razão entre a quantidade de períodos sem demanda dividido pela quantidade de períodos com demanda. A Figura 15 resume as categorias de consumo conforme resultado do CV e do ADI.

Figura 15 - Categorias de demanda de peças de reposição



Fonte: Bertolde e Junior (2013)

Bertolde e Junior (2013) apresentam as categorias como:

- Regular - peças de alto giro e baixo coeficiente de variação;
- Intermitente - peças com quantidade de períodos sem demanda;
- Errático – Peças com alta variabilidade da quantidade solicitada e possui alto giro;
- Lumpy – Peças com muitos períodos sem demanda e uma grande variabilidade na quantidade, sendo o mais difícil de controlar. Também chamado de granular.

Conforme Almeida, *et al*. (2001), o modelo de Poisson é utilizado com frequência para determinação da quantidade de peças sobressalentes. Os autores citam que a distribuição em questão possui relação com a distribuição exponencial, que é uma característica comum de falhas aleatórias no contexto da confiabilidade. Dentre as características da distribuição de Poisson o livro destaca (ALMEIDA, et al., 2001):

1. Independência entre o número de falhas em intervalos diferentes;
2. A probabilidade de ocorrer uma falha em um pequeno intervalo é aproximadamente proporcional ao interval;
3. A probabilidade de ocorrer mais de um evento num intervalo pequeno é desprezível comparada com a probabilidade de ocorrer um evento.

Seguindo essas premissas, Almeida *et al*. (2001) afirmam que a probabilidade de ocorrerem um número de falhas *x* no tempo *t* para uma taxa de falhas ou de risco λ é dada pela função de distribuição de probabilidade conforme Equação 13:

$$P\left(X(t) = {}^{x}/_{t}\right) = \frac{(\lambda t)^{x} \cdot e^{-\lambda t}}{x!} \quad (13)$$

Para a distribuição acumulada a expressão exposta na Equação 14 representa a probabilidade de que o número de falhas no período *t* seja menor ou igual a *N*. A letra *m* na equação representa o produto *n.λ.t*, sendo λ a taxa de falhas e *n* a quantidade de itens em exposição, bem como o *t* representa o tempo.

$$P(x \leq N) = \sum_{x=0}^{N} \frac{m^{x} \cdot e^{-m}}{x!} \quad (14)$$

Almeida *et al*. (2001) também expõem os tipos de abordagens para o dimensionamento de sobressalentes. A primeira delas é a abordagem baseada no risco de quebra de estoque. Nesta abordagem o foco é minimizar prioritariamente o risco de faltar o material sobressalentes, deixando o custo em segundo plano. Para isso é calculado o risco, representado pela letra grega alfa (α) e definindo a margem de segurança (*MS*) como sendo o complemento 1 – α. Ou seja, o *MS* é a probabilidade de que o estoque não quebrará no intervalo considerado. Portanto, a margem de segurança corresponde a distribuição acumulada do número de falhas na distribuição de Poisson e tendo como mostrado na Equação 15:

$$MS = \sum_{k=0}^{N} \frac{(\lambda_s T)^{k} e^{-\lambda_s t}}{k!} \quad (15)$$

Onde:

n – É a quantidade de itens em exposição;

λ_s – É a taxa de falhas do sistema (resultado de λ.n)

T – É o intervalo de tempo.

A resultante deste cálculo indica a quantidade de sobressalentes N com a qual se tem um risco α de quebra de estoque de forma que $P(x > N) < \alpha$ ou $P(x \leq N) \geq MS$. Assim, a aplicação desta abordagem verifica cada possível valor de N, iniciando de zero, até que se encontre um que atenda a condição preestabelecida.

A segunda abordagem para dimensionamento de sobressalentes indicada por Almeida *et al*. (2001) é a com base no conhecimento a *priori*. Esta é utilizada para casos em que não é possível obter os parâmetros de confiabilidade seja por falta ou por inconsistência dos dados existentes. A abordagem em questão utiliza o conhecimento de especialistas para obtenção de valores esperados de risco e margem de segurança. Como exemplo, pode ser utilizada a probabilidade a *priori* para obter a taxa de falhas de determinado tipo de componente.

A terceira abordagem apresentada é a que leva em consideração restrições de custo. Nela é o custo é tratado como item relevante e não apenas como resultado, conforme a abordagem estritamente baseada em risco. Portanto, primeiro se estabelece o limite de custo e depois se busca o melhor quantitativo de materiais em estoque (N) que, por consequência, diminui o risco de quebra de estoque. Assim a fórmula de análise consiste no que é apresentado na Equação 16:

$$C_t = \sum_{j=0}^{J} N_j \cdot C_j \tag{16}$$

onde o C_t é o custo total (deve ser abaixo do limite), N_j é o número de peças do tipo j e C_j é o custo individual de cada peça do tipo j.

A quarta abordagem é a segundo uma função utilidade multiatributo. Nesta abordagem são considerados tanto custo quanto risco de quebra de estoque de forma combinada.

Existe uma vasta gama de pesquisas relativas ao dimensionamento de sobressalentes em todas as fases do ciclo de vida de um produto e suas perspectivas (HU, et al., 2018). Este capítulo traz a base selecionada para a utilização na metodologia desenvolvida e aplicada neste trabalho.

2.5 ANÁLISE DE RISCO EM GASODUTOS

Durante a construção desta dissertação, foi realizado um estudo em paralelo sobre uma análise comparativa para avaliação de risco de gasoduto com base em normas internacionais e

um modelo multicritério, de forma a pôr em prática outros conceitos estudados ao longo do mestrado. O estudo foi apresentado no *11th IMA International Conference on Modelling in Industrial Maintenance and Reliability* (MIMAR), realizado via videoconferência. O artigo apresentado abordou sobre a importância da realização do gerenciamento dos riscos e como norma ASME B.31.8 aborda o tema em gasodutos, desde as etapas de definição, fórmulas até as principais abordagens que uma análise deve ter. Após expor a forma como as análises devem ser executadas conforme a norma, o trabalho expôs o resumo de um estudo feito por Brito *et al.* (2010) sobre um modelo multicritério para classificação de risco de dutos de gás natural baseado na Teoria da Utilidade integrada ELECTRE TRI. O artigo conclui que o código ASME estudado apresenta instruções para desenvolver o processo de avaliação de riscos, mas não é suficiente, pois não fornece informações detalhadas sobre as etapas da avaliação, como métodos para lidar com a decisão, bem como que os métodos de avaliação de risco por si só não devem ser totalmente confiáveis para estabelecer estimativas de risco ou para abordar ou mitigar riscos conhecidos. Os métodos de avaliação de risco devem ser usados em conjunto com pessoal experiente que revise regularmente a entrada de dados, suposições e resultados das avaliações de risco além de que um modelo multicritério pode apoiar a avaliação de risco em gasodutos, complementando e baseado nos requisitos estabelecidos pela norma ASME B 31.8S (LIMA, et al., 2021).

3 MODELO PROPOSTO

Neste tópico é apresentado o modelo proposto e suas etapas para aplicação em casos semelhantes. As etapas são descritas de forma que possam ser utilizadas em diversos seguimentos industriais, principalmente para situações em que a demanda de sobressalentes seja irregular. Fernandes (2010), cita que os elementos básicos da teoria do portfólio se baseiam nos critérios de retorno esperado e risco, levando o decisor a escolher o ponto ótimo para aplicação dos recursos. Este modelo traz uma forma de balancear estes dois aspectos de forma simples, prática e de rápida aplicação.

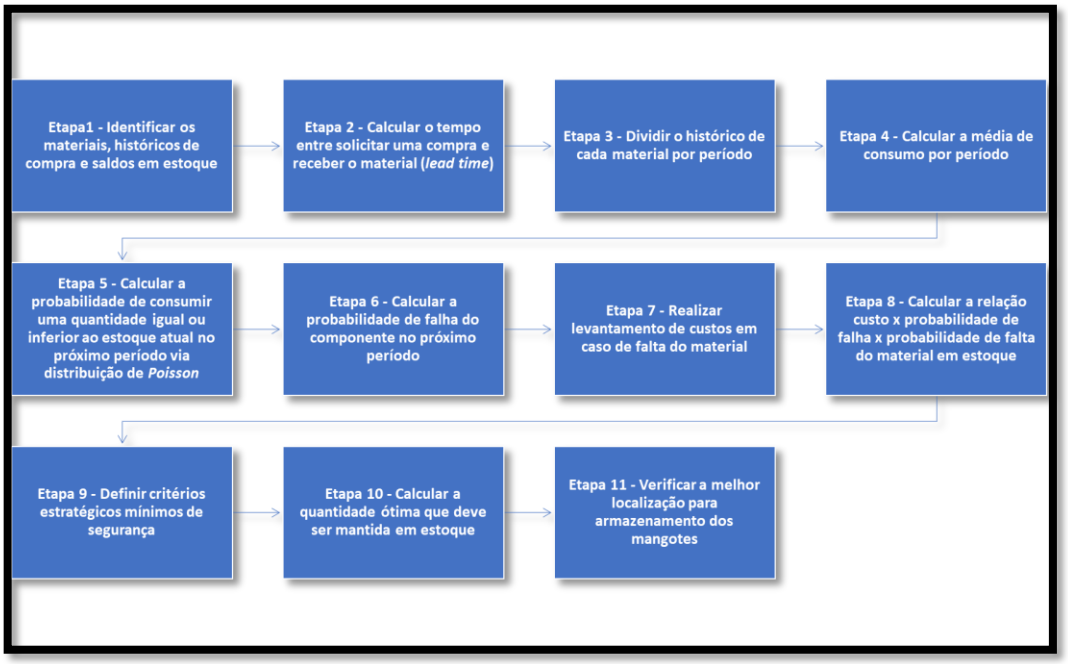
Os passos indicados partem do pressuposto de que existe registro histórico de movimentação das peças a terem sua quantidade otimizada calculada e de que tais dados estão confiáveis. Caso não haja histórico de movimentações ou os dados registrados não sejam considerados confiáveis, também é possível seguir os passos, porém com adaptações para estimativa de alguns parâmetros como, por exemplo, a utilização da elicitação por conhecimento a *priori* para obtenção dos dados das seguintes etapas do modelo proposto: 1 (Identificar os materiais, históricos de compra e saldos em estoque), 2 (Calcular o tempo entre solicitar uma compra e receber o material), 3 (Dividir o histórico de cada material por período), 4 (Calcular a média de consumo por período) e 7 (Realizar levantamento de custos em caso de falta do material). A depender das informações disponíveis de falhas, a etapa 8 (Calcular a relação custo x probabilidade de falha x probabilidade de falta do material em estoque) também poderá ser estimada da mesma maneira.

Assim como todo modelo é uma simplificação da realidade, este também possui limitações relativas à sua aplicação. Ele é voltado para peças que possuam demanda irregular. Caso a demanda seja regular, outras ferramentas além da previsibilidade por meio da distribuição de Poisson são mais aderentes. Além disso, por envolverem vários custos indiretos difíceis de se obter é necessário ter noção dos impactos e experiência para realizar uma aproximação mais adequada.

Outro ponto de destaque para o modelo proposto é que ele visa ser de fácil e rápida aplicação para que empresas de portes variados possam utilizá-lo. Seguindo as etapas estudadas as companhias podem obter excelentes resultados de otimização, assim como outras que aplicaram modelos semelhantes e tiveram seus principais resultados apresentados no capítulo de introdução. Praticamente, todos os passos podem ser realizados utilizando planilhas eletrônicas. A planilha eletrônica utilizada possui funções prontas para cálculos com

distribuição de Poisson, exponencial, Weibull, normal, lognormal, dentre outras. Além de também possuir a possibilidade do desenvolvimento de funções através da linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*). A figura 16 resume graficamente o fluxo das etapas:

Figura 16 - Fluxo das etapas do modelo proposto



Fonte: O autor

A seguir são detalhadas as etapas para aplicação do modelo:

Etapa1 - Identificar os materiais, históricos de compra e saldos em estoque

Nesta etapa deve-se obter o máximo de informações possíveis sobre os materiais a serem estudadas. Dentre as informações importantes para desenvolvimento do trabalho estão as datas de início e fim de cada processo de compra, separando em compras para estoque e compras para aplicação imediata. Também deve-se levantar as datas de retiradas dos sobressalentes do estoque para aplicação em campo. O valor de compra mais atualizado é outra informação chave para o processo.

Etapa 2 - Calcular o tempo entre solicitar uma compra e receber o material (*lead time*)

O *lead time* é calculado pelo tempo médio entre as datas de solicitação e recebimento de cada um dos materiais.

Etapa 3 - Dividir o histórico de cada material por período

A divisão do intervalo de consumo em anos ajuda no cálculo previsibilidade para o próximo ano, porém é possível dividir em meses, dias ou até mais de forma plurianual. Neste trabalho foi adotado o intervalo de um ano.

Etapa 4 - Calcular a média de consumo por período

A média de consumo por período, neste modelo, é utilizada como número de eventos na distribuição de *Poisson*.

Etapa 5 - Calcular a probabilidade de consumir uma quantidade igual ou inferior ao estoque atual no próximo período via distribuição de *Poisson*

Dado que os perfis de consumo dos materiais estudados, em geral, não apresentam padrões regulares, tal distribuição foi considerada mais adequada. Neste trabalho, o resultado calculado da distribuição acumulada de *Poisson* será chamado de Nível de Serviço (NS). Para este cálculo é possível utilizar planilhas eletrônicas da seguinte forma:

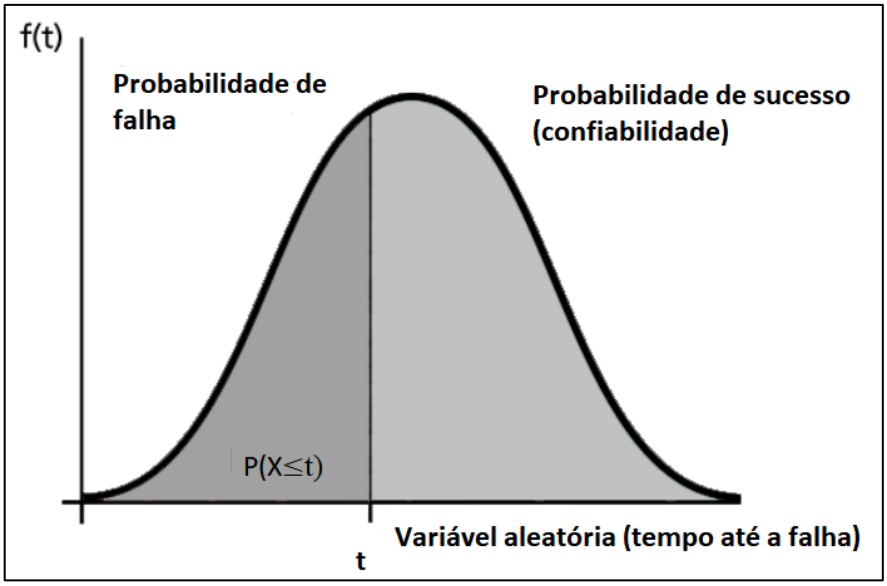
= POISSON (x, λ, verdadeiro) fornece a probabilidade acumulada até x, inclusive.

Onde:
x = Quantidade de peças sobressalentes e
λ = média de consumo histórico
É importante que x e λ estejam na mesma unidade de tempo, de modo a evitar erros de cálculo.

Etapa 6 - Calcular a probabilidade de falha do componente no próximo período

Identificar as funções de probabilidade de falha para cada tipo de mangote com base no histórico. Neste estudo foi considerada falha a reprovação do mangote nas inspeções periódicas. Para os casos em que a distribuição mais próxima foi a exponencial, o que significa falhas aleatórias, por segurança foi adotada a probabilidade de falha no próximo ano de 100%. As curvas determinam a probabilidade de a falha ocorrer até um determinado tempo "*t*", sendo funções que representam a distribuição acumulada das falhas ao longo do tempo. A Figura 17 representa a lógica da função de distribuição de probabilidade de falha.

Figura 17 - Função distribuição de probabilidade de falha



Fonte: O autor

Etapa 7 - Realizar levantamento de custos em caso de falta do material

É importante levar em consideração custos não só de reposição do material faltante, mas também multas, lucro cessante, dentre outros. Neste cálculo é utilizado o *lead time* como tempo que o sistema ficará indisponível até a chegada de novo mangote. Multiplicando o *lead time* pelo custo de um dia sem operar a linha o custo total é obtido.

Etapa 8 - Calcular a relação custo x probabilidade de falha x probabilidade de falta do material em estoque

É considerada uma falha total do processo quando o mangote é reprovado em teste e não há outro sobressalente na companhia, levando à necessidade de iniciar processo de compra e a indisponibilidade da linha inteira durante a aquisição. Ao multiplicar o custo total, calculado no passo anterior, pela probabilidade de falha encontrada via cálculos de confiabilidade e a probabilidade de falta no estoque, que é a diferença entre o NS e 100%, se obtém o custo provável da falha.

Etapa 9 - Definir critérios estratégicos mínimos de segurança

Neste caso, foi definido que para cada tipo de mangote deve haver ao menos uma unidade em estoque na companhia, mesmo que o ponto ótimo seja zero. Outro critério

adotado foi que a quantidade em estoque deve ser em quantidade suficiente para que o nível de serviço seja superior a 90%.

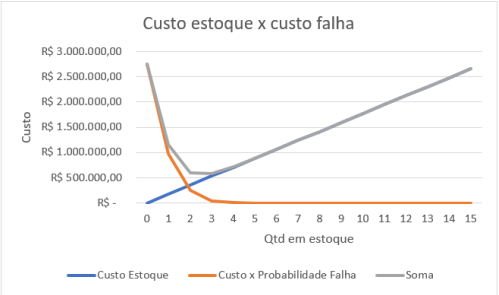
Etapa 10 - Calcular a quantidade ótima que deve ser mantida em estoque

A quantidade ótima em estoque é aquela em que atende aos critérios de segurança e apresentam a menor soma entre o custo de aquisição dos materiais sobressalentes e o custo provável de falha. Para encontrar o ponto ótimo são realizadas variações da quantidade em estoque até que o somatório apresente o menor valor possível, conforme exemplo indicado na Figura 18.

Figura 18 - Cálculo de quantidade ótima em estoque

Qtd	Poisson	Custo Estoque	Custo x Probabilidade Falha	Soma	Teste
0	44,1%	R$ -	R$ 2.753.507,96	R$ 2.753.507,96	
1	80,2%	R$ 177.176,38	R$ 974.517,20	R$ 1.151.693,57	
2	95,0%	R$ 354.352,75	R$ 246.748,25	R$ 601.101,00	
3	99,0%	R$ 531.529,13	R$ 48.265,81	R$ 579.794,94	Melhor condição
4	99,8%	R$ 708.705,50	R$ 7.667,13	R$ 716.372,63	
5	100,0%	R$ 885.881,88	R$ 1.023,71	R$ 886.905,58	
6	100,0%	R$ 1.063.058,25	R$ 117,79	R$ 1.063.176,04	
7	100,0%	R$ 1.240.234,63	R$ 11,90	R$ 1.240.246,53	
8	100,0%	R$ 1.417.411,00	R$ 1,07	R$ 1.417.412,07	
9	100,0%	R$ 1.594.587,38	R$ 0,09	R$ 1.594.587,46	
10	100,0%	R$ 1.771.763,75	R$ 0,01	R$ 1.771.763,76	
11	100,0%	R$ 1.948.940,13	R$ 0,00	R$ 1.948.940,13	
12	100,0%	R$ 2.126.116,50	R$ 0,00	R$ 2.126.116,50	
13	100,0%	R$ 2.303.292,88	R$ 0,00	R$ 2.303.292,88	
14	100,0%	R$ 2.480.469,25	R$ 0,00	R$ 2.480.469,25	
15	100,0%	R$ 2.657.645,63	R$ 0,00	R$ 2.657.645,63	
16	100,0%	R$ 2.834.822,00	R$ -	R$ 2.834.822,00	
17	100,0%	R$ 3.011.998,38	R$ -	R$ 3.011.998,38	
18	100,0%	R$ 3.189.174,75	R$ -	R$ 3.189.174,75	
19	100,0%	R$ 3.366.351,13	R$ -	R$ 3.366.351,13	
20	100,0%	R$ 3.543.527,50	R$ -	R$ 3.543.527,50	

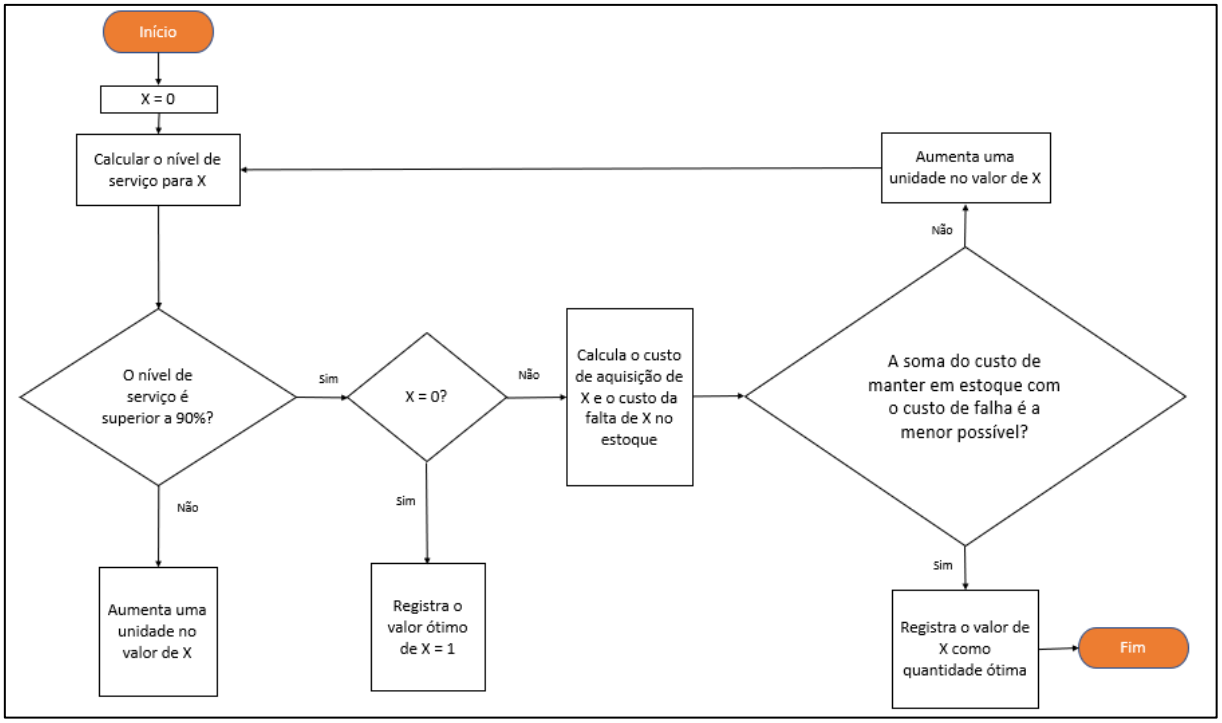
NM 500729 Qtd Ótima 3



Fonte: O autor

Para o cálculo rápido de vários materiais, o algoritmo proposto identifica a quantidade ótima em poucos segundos. O fluxograma exposto na Figura 19 traz um resumo da lógica de cálculo, onde a quantidade ótima, representada como X, começa em zero e aumenta até a que representa menor soma entre custo de manter em estoque e custo da falta de mangote sobressalente.

Figura 19 - Fluxograma básico do cálculo de quantidade sobressalente ótima



Fonte: O autor

Etapa 11 - Verificar a melhor localização para armazenamento dos mangotes

Dado que a quantidade calculada considera a companhia como um todo para ter um estoque otimizado é de extrema importância indicar a melhor localização para armazenamento dos mangotes de forma que seja otimizado o custo logístico em caso de transferência, bem como redução do tempo de atendimento. Para esta etapa deve ser verificado o histórico de consumo de cada tipo de mangote e sua proporção de uso em cada instalação, armazenando o valor calculado numa quantidade diretamente proporcional.

4 APLICAÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

De forma a expor o potencial do dimensionamento dos mangotes sobressalentes com base em estatística, este capítulo expõe um estudo de caso aplicado numa empresa de grande porte e com elevada importância estratégica para o Brasil. Esta empresa, presente em 20 estados do país que opera e mantém, mais 15 mil quilômetros de oleodutos e gasodutos, 59 navios, 20 terminais terrestes e 27 terminais aquaviários, destes terminais 5 são *offshore*, ou seja, ficam localizados no mar como terminais flutuantes. Os terminais aquaviários e oleodutos movimentaram, somente no ano de 2020, cerca de 568 milhões de metros cúbicos de petróleo e derivados (TRANSPETRO, 2021). Grande parte do carregamento e descarregamento de navios na companhia e em outros terminais pelo mundo é feita por meio de mangotes marítmos. Isso põe esses componentes como estratégicos para as empresas que atuam com importação e exportação de granéis líquidos. O custo elevado para adquirir e armazenar os materiais em questão, além do risco de rompimento no mar também são fatores preponderantes na determinação da quantidade de mangotes sobressalentes armazenados em estoque. Atualmente a indicação da quantidade em estoque é feita por experiência humana, porém sem critérios estatísticos que embasem as compras. Tal fato tem proporcionado quebra de estoque em alguns terminais e excesso de mangotes parados em outros. Isso tem acarretado em custos relativos à transferência entre terminais, aumento do risco de pagamento de sobrestadia de navios, aumento do tempo de carga e descarga de navios, além do custo desnecessário de manutenção dos materiais em estoque.

Os estudos de confiabilidade aplicados aos mangotes offshore se apresentam muito úteis não somente para o dimensionamento de sobressalentes, quanto para definição de uma política de substituição por tempo. Durante a pesquisa, foram obtidos os tempos de substituição planejada para mangotes offshore nas principais empresas do setor. A Tabela 3 resume o tempo de substituição por tipo de mangote, bem como observações pontuais sobre como cada empresa chegou aos valores praticados. No Tabela 3, a sigla NA significa Não Aplicável e a NI significa não informado. Os nomes das empresas que disponibilizaram os dados foram ocultados por questões de confidencialidade. A criação de uma política de substituição por tempo influencia na determinação da quantidade de sobressalentes a serem mantidos em cada companhia, embora nenhuma das pesquisadas indicou ter realizado estudo específico sobre tal tema.

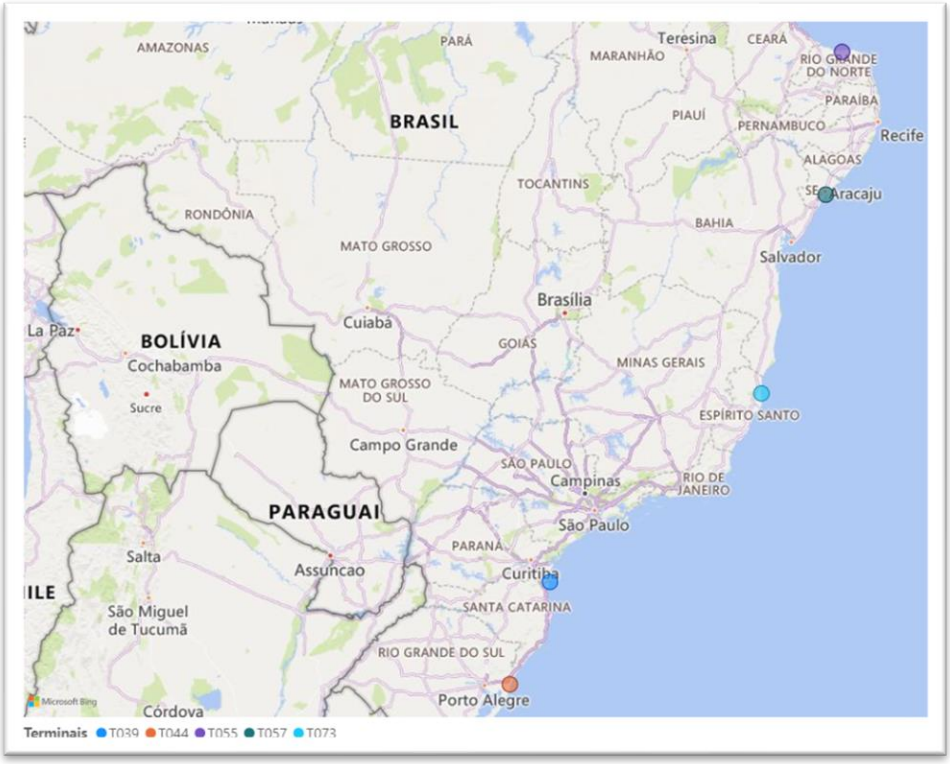
Tabela 3 - Substituição de mangotes offshore por tempo

Substituição por tempo	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5	Empresa 6	Empresa 7
First Off Buoy	4	2,5	4	6	2	NA	NI
Mainline	10	5	8	7	7	NA	NI
Tail	4	5	5	6	5	NA	NI
Tanker Rail	3	2,5	3	6	2	NA	NI
Submarino	8	5	NI	6	5	NA	NI
Observações	Critério evoluiu com o tempo através de estudos e testes destrutivos	Utilizam como base uma tabela do fabricante Manuli	Utilizam a tabela presente no SMOG que indica os tempos médios de substituição de outros operadores		Estudo em conjunto com o fabricante Yokohama	Utilizam apenas o critério de substituição por condição	Realizaram estudo de confiabilidade e avaliação de risco, aumentando o tempo de vida dos mangotes entre 20% a 50% em relação a média de outras empresas

Fonte: O autor

Para aplicação da metodologia proposta, foram escolhidos os 5 terminais aquaviários *offshore* do Brasil que ficam distribuídos ao longo da costa do país desde o Nordeste até o Sul. A Figura 20 mostra a localização dos terminais na costa brasileira:

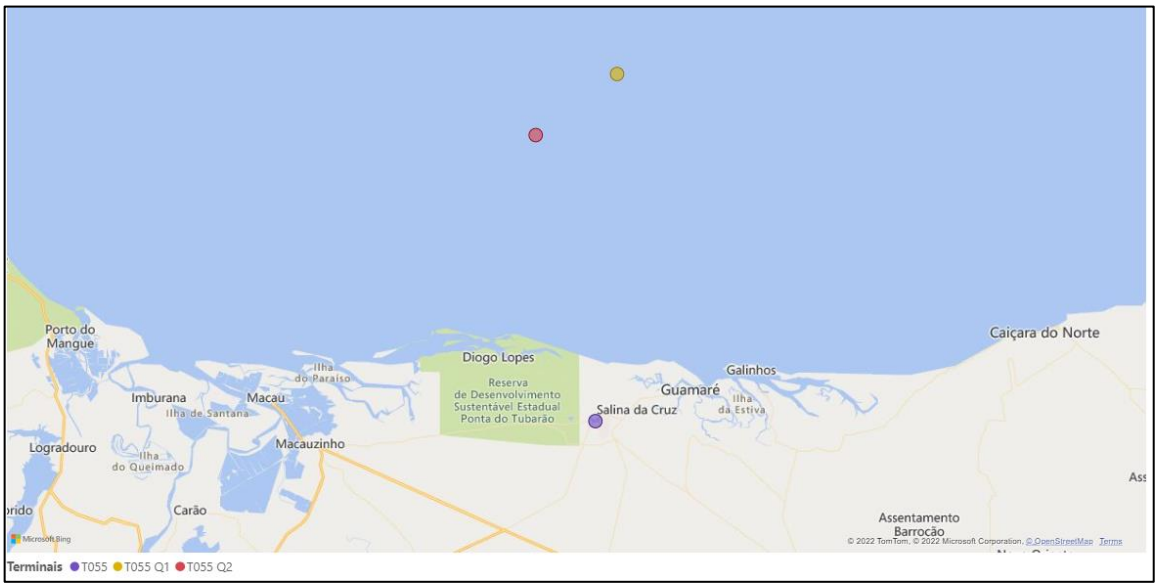
Figura 20 - Distribuição dos terminais offshore na costa brasileira



Fonte: O autor

Os terminais possuem alta relevância estratégica para a logística de petróleo e derivados no país. Os dois terminais do Sul, por exemplo, são responsáveis pela entrada de produtos na região Sul de forma exclusiva. Uma falha em algum deles pode deixar uma região inteira desabastecida. Para ter noção do possível impacto em caso de vazamento, a Figura 21 mostra a localização de um dos terminais e seus dois quadros de boias. Nota-se que além do possível espalhamento do petróleo no mar em caso de rompimento de mangotes, na costa, próximo ao terminal existe uma reserva ambiental.

Figura 21 - Localização do terminal e dos dois quadros de boias relacionados



Fonte: O autor

Para cada uma das etapas do modelo proposto foram elencadas as ações e informações importantes para a aplicação e análise dos resultados. Seguir está descrita a implementação por etapa:

Aplicação etapa 1 - Identificar os materiais, históricos de compra e saldos em estoque.

Foram identificados 22 tipos de mangotes que compõem as linhas distribuídas nos cinco terminais, sendo dois terminais com quadros de boias e três terminais com monoboias. Para cada mangote um foi levantado o histórico de compras. Neste trabalho, os terminais foram representados pelos códigos: T055, T057, T073, T039 e T044, por questões de confidencialidade. Os códigos adotados são os mesmos dos registros do sistema interno da companhia. Cada tipo de mangote também foi representado por um número denominado NM (Número do Material). Tais números representam mangotes com especificações técnicas

diferentes como continuidade elétrica, comprimento, diâmetro, dentre outras informações. Para aplicação do modelo foram consideradas as movimentações de componentes seja por compra, saída de estoque e devolução ao estoque. Como o histórico anterior a 2010 não foi considerado confiável, foram levantadas todas as movimentações de 2010 até 2020, totalizando 11 anos completos de dados de compras e movimentações de estoque.

O terminal T055 fica na região Nordeste e possui 4 linhas distribuídas conforme representado na Tabela 4. Cada uma das linhas de mangotes tem aproximadamente 160 m de comprimento. A formação das linhas do terminal é do tipo quadros de boias. As linhas são divididas em escuros e claros. Na categoria de escuros, basicamente se enquadra o petróleo bruto. A categoria de claros comporta os derivados de petróleo como por exemplo diesel, gasolina, nafta, entre outros. As linhas de escuros e claros ficam situadas a 30 km e 16 km da costa, respectivamente. Apesar de contar com duas linhas de cada, quando ocorre movimentação de produtos, ambas são utilizadas ao mesmo tempo para reduzir o tempo em que o navio fica fundeado, logo a indisponibilidade de uma delas dobrará o tempo de estadia do navio, acarretando elevação de custos. Este terminal tem por função principal servir de ponto de armazenagem e de escoamento, por meio de cabotagem ou por viagens de longo curso, para a produção de petróleo oriundo dos campos de terra do estado de um dos maiores estados produtores de petróleo do país. Além disso, em casos excepcionais, suas instalações podem receber petróleo de outros pontos operacionais.

Tabela 4 - Configuração das linhas do terminal T055

NM	DESCRIÇÃO RESUMIDA	QB CLAROS LINHA NORTE	QB CLAROS LINHA SUL	QB ESCUROS LINHA NORTE	QB ESCUROS LINHA SUL
CONEXÃO COM O NAVIO					
500729	Tanker Rail (Conexão com o Navio)	1	1	1	1
503232	Meio de Linha	1	1	1	1
500731	Meio de Linha	5	5	5	5
500734	Redutor	1	1	1	1
500737	Meio de Linha	8	9	8	7
500740	PLEM End (Conexão com o PLEM)	1	1	1	1
TOTAL DE MANGOTES		**17**	**18**	**17**	**16**
CONEXÃO COM O PLEM					

Fonte: O autor

O mangote de conexão com o navio de NM 500729 possui duas unidades armazenadas em estoque na companhia e, em média, é comprado um novo a cada 1,25 anos. Isso leva a uma taxa de 0,8 novos mangotes com essas características por ano. A mesma análise foi feita para os outros mangotes, analisando o histórico dos últimos 11 anos. O meio de linha de NM 500731 possui consumo médio de 1,5 por ano e os NMs 503232 e 500734 de 0,5. O meio de linha de NM 500737, apesar de se apresentar em maior quantidade, possui um consumo de

0,4 unidades por ano. Por fim, o PLEM End, de NM 500740, também apresenta um consumo médio de 0,5 por ano. Estes consumos são globais para toda companhia. É importante destacar que os NMs apresentados são dos mesmos modelos dos que existem no T057. Em média, 40% do consumo fica com o terminal T055 e 60% com o T057. Porém existe variação do consumo por tipo de mangote. No passo 11 são detalhadas essas distribuições e a Tabela 11 mostra a taxa de consumo de todos os tipos de mangotes.

Um fato que chama atenção ao observar os consumos por tipo é que os mangotes que ficam na linha mais próximos ao navio, como o *tanker rail* e alguns *mainline* apresentam taxa de consumo maior que os demais. Isso se deve, principalmente, por estarem mais sujeitos a influência externa na movimentação de conexão e desconexão com os navios tanque.

O terminal T057 também fica na região Nordeste e possui 2 linhas em quadros de boias, além de possuir algumas semelhanças ao T055. As principais diferenças estão na quantidade de linhas e no produto transportado, porém os mangotes são dos mesmos modelos, como pode ser percebido nas numerações iguais de NM. Como ambos estão na mesma região geográfica, o compartilhamento de materiais se torna mais fácil e rápido. Assim como no T055, as linhas são utilizadas em paralelo para aumentar a vazão de transferência do petróleo, de forma que não podem ser consideradas redundantes. A falha de uma reduz em 50% a vazão planejada, resultando em diversos atrasos de programações de navios. As instalações marítimas localizam-se na costa leste brasileira e em área marítima desabrigada, distante cerca de 3,8 milhas náuticas (aproximadamente 7 quilômetros) da costa, ficando o berço do quadro sobre uma profundidade de 18 m, onde se encontra a conexão com o PLEM. As linhas de mangotes possuem comprimento total em torno de 120 metros. A Tabela 5 mostra a distribuição dos tipos de mangotes nas linhas do terminal T057.

Tabela 5 - Configuração das linhas do terminal T057

NM	DESCRIÇÃO RESUMIDA	LINHA NORTE	LINHA SUL
CONEXÃO COM O NAVIO			
500729	Tanker Rail (Conexão com o Navio)	1	1
503232	Meio de Linha	1	1
500731	Meio de Linha	4	4
500734	Redutor	1	1
500737	Meio de Linha	5	5
500740	PLEM End (Conexão com o PLEM)	1	1
TOTAL DE MANGOTES		**13**	**13**
CONEXÃO COM O PLEM			

Fonte: O autor

O terminal T073 fica na região Sudeste e possui uma linha e tem formação do tipo monoboia, o que torna o risco parada operacional por falta de mangotes disponíveis maior. Outro ponto de destaque é que os mangotes aplicados neste terminal não possuem intercambialidade com outros terminais *offshore*, por terem características muito diferentes, como diâmetro, classe de pressão, dentre outras. Logo, para este terminal, o dimensionamento e armazenamento se dá somente com os dados dele, sem considerar compartilhamento. A monoboia instalada serve como terminal oceânico para amarração de navios destinados ao transporte de petróleo proveniente de campos terrestres e marítimos. O PLEM fica localizado a 3,5 km da costa numa profundidade de 16 metros e a sua conexão com a monoboia se dá por meio de duas linhas em formação do tipo lanterna chinesa. A comprimento da linha de mangotes que liga a monoboia até o navio tanque é de aproximadamente 250 metros.

Analisando o histórico de compras de cada tipo de mangote, foi verificado que o consumo anual do NM 267169, o *tanker rail* que faz a conexão com o navio tanque, é de 0,7 unidades por ano. Os dois do tipo tail de NMs 205262 e 267262 apresentam consumo anual de 0,1 e 0,5, respectivamente. O redutor de NM 161784 também apresenta o histórico de compra de uma unidade a cada 10 anos, resultando na taxa de 0,1 por ano. O meio de linha de NM 161819, que é o que apresenta maior quantidade, apresentou uma taxa de consumo de 1 unidade por ano. O mangote do tipo *first off buoy* (FOB), que faz a conexão com a monoboia também mostrou um dos maiores consumos, chegando à média de 0,9 por ano. Por fim, o mangote que fica submerso, conhecido como extremidade com a lanterna chinesa (NM 279092) possui uma compra a cada 3 anos. Assim como percebido nos mangotes de quadros de boias, os que fazem a conexão com o navio tanque, denominados de *tanker rail*, apresentam uma taxa de consumo mais elevada em relação aos que ficam no curso da linha. Uma diferença é que os que ficam próximos da monoboia também se mostraram com taxa de compras elevadas. Isso leva a concluir que quanto mais próximo de alguma região fixa como navio ou monoboia, os mangotes tendem a falhar mais de forma a necessitar de mais substituições. A Tabela 6 resume a distribuição dos mangotes nas linhas do terminal T073.

Tabela 6 - Configuração das linhas do terminal T073

NM	DESCRIÇÃO RESUMIDA	LINHA FLUTUANTE	
CONEXÃO COM O NAVIO			
267169	Tanker Rail (Conexão com o Navio)	1	
205262	*Tail*	1	
267262	*Tail*	2	
161784	Redutor	1	
161819	Meio de Linha	17	
426512	*First Off Buoy* (Conexão com a Monoboia)	1	
TOTAL DE MANGOTES		**23**	
CONEXÃO COM A MONOBOIA			
NM	**DESCRIÇÃO RESUMIDA**	**LANTERNA CHINESA NORTE**	**LANTERNA CHINESA SUL**
279092	Lanterna chinesa (Extremidade)	2	2
CONEXÃO COM O PLEM			

Fonte: O autor

O terminal T039 fica na região Sul e sua configuração apresenta duas linhas de mangotes de cerca de 300 metros de comprimento cada. A Tabela 7 mostra detalhes da distribuição dos tipos de mangote nas linhas. A conexão entre a monoboia e o *manifold* submarino (PLEM) se dá através de mangotes com configuração denominada de lanterna chinesa que atingem uma profundidade de 50 metros. A ligação entre o PLEM e a costa é feita por dutos submarinos de 11,5 km de comprimento.

Ao realizar a análise do histórico de compra de cada tipo de mangote, chegou-se ao resultado de que o NM 517438 do tipo *tanker rail*, ou seja, de conexão com o navio tanque apresentou uma taxa de compra de 1,4 unidades por ano. Os mangotes do tipo *tail* de NMs 336235 e 336237 registram histórico de compra de 1,5 e 1 unidades por ano, respectivamente. O redutor de NM 336234 ficou com consumo de 0,6 por ano, enquanto o meio de linha de NM 336233 ficou com 8,3 por ano. Sendo a maior taxa aquisição de todos os mangotes estudados. O mangote FOB de NM 336232 apresentou histórico de 0,9 por ano. Para completar os tipos utilizados no terminal T039, os mangotes submarinos do tipo lanterna chinesa de NMs 336240 e 336264 tiveram em seu histórico a taxa de compras de 1,1 e 0,4, respectivamente. Vale salientar que o consumo calculado é para companhia inteira. Como a maior parte desses mangotes são compartilhados com o terminal T044, a taxa de consumo é o somatório do histórico dos dois terminais.

Tabela 7 - Configuração das linhas do terminal T039

NM	DESCRIÇÃO RESUMIDA	LINHA FLUTUANTE INTERNA	LINHA FLUTUANTE EXTERNA
CONEXÃO COM O NAVIO			
517438	Tanker Rail (Conexão com o Navio)	1	1
336237	*Tail*	1	1
336235	*Tail*	2	2
336234	Redutor	1	1
336233	Meio de Linha	22	23
336232	*First Off Buoy* (Conexão com a Monoboia)	1	1
TOTAL DE MANGOTES		**28**	**29**
CONEXÃO COM A MONOBOIA			
NM	**DESCRIÇÃO RESUMIDA**	**LANTERNA CHINESA NORTE**	**LANTERNA CHINESA SUL**
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)	1	1
336264	Lanterna Chinesa (Meio de Linha)	1	1
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)	1	1
TOTAL DE MANGOTES		**3**	**3**
CONEXÃO COM O PLEM			

Fonte: O autor

Além da proximidade, observando as Tabelas 7 e 8 é possível notar que os mangotes de conexão entre as monoboias e os navios são os mesmos, tendo pequenas diferenças nos mangotes de conexão das monoboias com os PLEM. O compartilhamento de sobressalentes entre esses terminais se mostra bastante viável.

O único mangote que é utilizado no T044 e não é utilizado no T039 é o do tipo lanterna chinesa de NM 421264 que tem em seus registros de consumo a taxa de 0,5 unidades por ano.

O terminal T044 é o que fica mais ao Sul do país de todos os cinco que foram estudados. A região possui mar muito agitado e que, por diversas vezes, requer a interrupção das operações sob risco de rompimento dos cabos de amarração dos navios tanque, bem como rompimento das linhas de mangotes em operação. A característica de vento e do mar se mostram ao perceber a taxa de consumo dos mangotes bem superior aos das demais unidades do país. O terminal possui sistemas de alarme e procedimentos de interrupção de operações para determinadas velocidades de vento advindas do continente em direção ao mar. Os *manifolds* de conexão dos mangotes do tipo lanterna chinesa e os dutos que levam até o terminal ficam em profundidades variando entre 21 e 25 metros e em distâncias de 3,9 km e 6,5 km da costa. As linhas de mangotes possuem cerca de 285 metros de comprimento, ligando as monoboias até os navios. A Tabela 8 indica a composição de cada tipo de mangotes nestas linhas. Para garantir o longo comprimento da linha, são utilizados vários mangotes do tipo meio de linha (*mainline*). Um fato que pode ser constatado é que, diferente dos outros terminais, as taxas de compra de novos mangotes não se concentram mais nas

extremidades. Ao longo de toda linha as taxas são elevadas, sendo o meio de linha a maior delas.

Tabela 8 - Configuração das linhas do terminal T044

NM	DESCRIÇÃO RESUMIDA	LINHA FLUTUANTE INTERNA 1	LINHA FLUTUANTE EXTERNA 1	LINHA FLUTUANTE INTERNA 2	LINHA FLUTUANTE EXTERNA 2
CONEXÃO COM O NAVIO					
517438	Tanker Rail (Conexão com o Navio)	1	1	1	1
336237	*Tail*	1	1	1	1
336235	*Tail*	3	3	3	3
336234	Redutor	1	1	1	1
336233	Meio de Linha	21	22	21	22
336232	*First Off Buoy* (Conexão com a Monoboia)	1	1	1	1
TOTAL DE MANGOTES		28	29	28	29
CONEXÃO COM A MONOBOIA					
NM	DESCRIÇÃO RESUMIDA	LANTERNA CHINESA NORTE 1	LANTERNA CHINESA SUL 1	LANTERNA CHINESA NORTE 2	LANTERNA CHINESA SUL 2
421264	Lanterna chinesa (Extremidade)	1	1		
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)			1	1
336264	Lanterna Chinesa (Meio de Linha)			1	1
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)	1	1	1	1
TOTAL DE MANGOTES		2	2	3	3
CONEXÃO COM O PLEM					

Fonte: O autor

Como não houve um estudo específico sobre as quantidades mínimas a serem mantidas em estoque, a companhia padronizou as indicadas na Tabela 9, sendo alguns deles com a possibilidade de compartilhamento entre unidades caso utilizem do mesmo NM. A definição desse estoque seguiu a recomendação da OCIMF (1995) que apresentava uma versão conservadora de que cada linha deveria ter outra sobressalente completa em estoque. Para adquirir essa quantidade de mangotes sobressalentes a companhia precisa desembolsar algo em torno de R$ 40 milhões, o que é considerável impraticável para o momento. Como a edição do SMOG de 2015 indicou que cada companhia deve fazer o seu estudo de análise de risco e definição da quantidade ótima em estoque, o indicativo do padrão não foi adquirido e cada terminal definiu por experiência o que deve ser mantido como sobressalente. As estratégias de cada terminal se mostraram eficazes do ponto de vista de evitar sobrestadia de navios tanque, porém em alguns terminais existem vários mangotes sobressalentes parados há vários anos e outros passaram por dificuldades e restrições operacionais de menor impacto pela falta de reservas disponíveis. No momento da aplicação deste estudo, existiam mangotes sem reservas em estoque em quase 50% dos modelos (NMs) existentes. Parte disso se deve ao fato de que muitos deles foram substituídos por terem sido reprovados na última campanha de inspeção. Praticamente todas as linhas da companhia tiveram algum mangote substituído no ano de 2020. O mangote meio de linha de NM 336233, que é utilizado tanto no T039 quanto no T044, teve 26 unidades substituídas no ano em questão, por exemplo. Por este motivo que na etapa 6 foi considerado que os mangotes estão novos e que a probabilidade de falha a ser considerada é dos primeiros 365 dias de campanha.

Tabela 9 - Estoque mínimo por terminal, conforme padrão interno vigente

T055	
NM	ESTOQUE MÍNIMO
500729	2
503232	2
500731	7
500734	2
500737	7
500740	2

T073	
NM	ESTOQUE MÍNIMO
267169	1
205262	1
267262	2
161784	1
161819	17
426512	1
279092	2

T057	
NM	ESTOQUE MÍNIMO
500729	1
503232	1
500731	4
500734	1
500737	2
500740	1

T039	
NM	ESTOQUE MÍNIMO
517438	2
336237	2
336235	3
336234	2
336233	15
336232	2
336264	1
336240	2

T044	
NM	ESTOQUE MÍNIMO
517438	3
336237	2
336235	6
336234	2
336233	14
336232	3
336264	1
336240	3
421264	1

Fonte: O autor

Para verificar se as quantidades padronizadas estão adequadas ou então quais devem ser as quantidades ótimas para os terminais *offshore* da companhia como um todo, cada um dos mangotes teve o levantamento do histórico de compras completo dos últimos 11 anos realizado. O resumo da quantidade consumida a cada ano é mostrado na Tabela 11. As etapas a seguir descrevem a aplicação do modelo proposto.

Aplicação etapa 2 - Calcular o tempo entre solicitar uma compra e receber o material (*lead time*).

O *lead time* é calculado pelo tempo médio entre as datas de solicitação e recebimento de cada um dos materiais. Na Tabela 10 é possível notar que o tempo para reposição dos mangotes é muito elevado, chegando em alguns casos a ultrapassar um ano. Isso se dá por uma série de fatores, dos quais é possível destacar as exigências para formação de processo licitatório e o tempo de fabricação dos mangotes, pois em geral não são dispostos para entrega imediata. No mesmo quadro também está exposta a quantidade atual de mangotes sobressalentes de cada NM. Observa-se que muitos não possuem nenhum disponível em toda companhia, mesmo com o *lead time* elevado.

Como explicado na etapa anterior, o fato de muitos estarem com estoque zero também se dá por terem sido aplicados em campo em 2020, porém com a proximidade da próxima companha de inspeção é necessário que se tenham novos sobressalentes disponíveis. Além disso, dado que o *lead time* é longo, em diversos casos a compra dos mangotes para estoque já

deveriam ter sido iniciadas quando o anterior foi aplicado. Para que essa reposição seja realizada de forma automática é recomendado que seja implementado um parâmetro de ressuprimento automático. A aplicação deste estudo se mostra vantajosa pois equilibra custo e risco.

Tabela 10 - Estoque atual e lead time por tipo de mangote

NM	Tipo	Estoque atual	Lead Time (dias)
161784	Redutor	0	455
161819	Meio de Linha	10	218
205262	Tail descontínuo	3	345
267169	Tanker Rail	3	312
267262	Tail contínuo	1	309
279092	Lanterna chinesa (Extremidade)	7	299
336232	First Off Buoy (FOB)	0	310
336233	Meio de Linha	6	344
336234	Redutor	0	406
336235	Tail contínuo	0	535
336237	Tail descontínuo	0	430
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)	0	318
336264	Lanterna chinesa (Meio de Linha)	0	261
421264	Lanterna chinesa (Extremidade)	0	267
426512	First Off Buoy (FOB)	0	325
500729	Tanker Rail	2	153
500731	Meio de Linha	7	244
500734	Redutor	2	351
500737	Meio de Linha	7	631
500740	PLEM END	2	510
503232	Meio de Linha	0	328
517438	Tanker Rail	5	344

Fonte: O autor

Aplicação etapa 3 - Dividir o histórico de cada material por período.

Por considerar que o histórico registrado no sistema de gerenciamento de manutenção da companha é mais confiável após 2010, foi coletado todo histórico de consumo do ano em questão até 2020. O ano de 2021 não foi contemplado pelo fato de o levantamento ter sido realizado no meio do ano. A quantidade consumida em cada ano está representada na Tabela 11. Os anos onde o consumo está representado como negativo se dá por mangotes reprovados em anos anteriores serem recuperados e reintegrados ao estoque.

Aplicação etapa 4 - Calcular a média de consumo por período.

Na Tabela 11, além do consumo anual é apresentada média e o perfil de consumo. Os perfis de consumo são todos erráticos ou *lumpy* (granular), mostrando o quão irregulares são.

A falta de uma metodologia estatística para determinação das quantidades sobressalentes fica evidente ao comparar as médias de consumo históricas e as quantidades em estoque. Por exemplo, o NM 161819 com média de consumo de 1 por ano, possui 10 unidades sobressalentes, enquanto o NM 336233 possui uma média de consumo maior que a

quantidade disponível. Os impactos dos anos de consumo muito elevado não foram grandes do ponto de vista operacional, pois maior parte das substituições foram feitas de forma planejada e proativa, ou seja, antes da reprovação em testes ou rompimento em operação.

Tabela 11 - Consumo de mangotes por tipo e ano

NM	Tipo	Estoque atual	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Média	Perfil
161784	Redutor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,1	Lumpy
161819	Meio de Linha	10	9	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1,0	Lumpy
205262	Tail descontínuo	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	-2	0,1	Lumpy
267169	Tanker Rail	3	2	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0,7	Errático
267262	Tail contínuo	1	2	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0,5	Lumpy
279092	Lanterna chinesa (Extremidade)	7	2	0	0	0	2	0	1	2	1	0	-5	0,3	Errático
336232	First Off Buoy (FOB)	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	5	0,9	Lumpy
336233	Meio de Linha	6	0	0	6	8	8	22	4	4	12	1	26	8,3	Errático
336234	Redutor	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	3	0,6	Lumpy
336235	Tail contínuo	0	0	0	3	0	3	0	0	1	1	0	9	1,5	Errático
336237	Tail descontínuo	0	0	0	1	1	2	1	1	0	2	0	3	1,0	Errático
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)	0	0	0	0	0	4	1	1	1	0	0	5	1,1	Errático
336264	Lanterna chinesa (Meio de Linha)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0,4	Lumpy
421264	Lanterna chinesa (Extremidade)	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	2	0,5	Lumpy
426512	First Off Buoy (FOB)	0	4	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0	1,1	Lumpy
500729	Tanker Rail	2	3	0	0	1	1	0	0	0	4	0	0	0,8	Lumpy
500731	Meio de Linha	7	3	0	0	2	2	2	0	0	5	3	0	1,5	Errático
500734	Redutor	2	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	1	0,5	Lumpy
500737	Meio de Linha	7	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0,4	Lumpy
500740	PLEM END	2	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	3	0,5	Lumpy
503232	Meio de Linha	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	1	0	0,5	Lumpy
517438	Tanker Rail	5	0	0	0	1	2	1	3	3	2	0	3	1,4	Errático

Fonte: O autor

Com base no histórico de consumo foi possível constatar que todos os mangotes se enquadraram nos perfis *lumpy* ou errático. Ou seja, ou possuem alta variabilidade de demanda ou possuem muitos períodos sem demanda, tornando a previsibilidade mais difícil. Este foi mais um motivo para adoção da distribuição de Poisson como ferramenta de análise da probabilidade ruptura de estoque.

Aplicação etapa 5 - Calcular a probabilidade de consumir uma quantidade igual ou inferior ao estoque atual no próximo período via distribuição de *Poisson*.

Considerando que durante todo histórico dos terminais estudados não houve falha de mangote em serviço, foi adotada a premissa de que a falha é aleatória e utilizada a distribuição de Poisson com base nas compras para aplicação imediata ou baixa de estoque realizadas nos últimos 11 anos. Foi adotado que cada compra ocorreu em função da condenação dos mangotes em testes periódicos estabelecidos em norma e que não foi possível realizar a recuperação.

Para cada mangote foi adotada a média de consumo dos últimos 11 anos como o "x" da equação da distribuição de Poisson, por ser o número mais próximo da taxa de consumo disponível. Assim, com a média foi possível calcular a probabilidade de utilizar uma quantidade menor estoque atual disponível no próximo ano. Os cálculos foram realizados por meio de planilhas eletrônicas.

A Tabela 12 mostra o resultado e chama atenção para alguns itens muito abaixo de 100%, indicando possível quebra de estoque no próximo ano. O NS indicado representa o nível de segurança que é calculado como a probabilidade de ser utilizada uma quantidade igual ou inferior a atualmente existem em estoque no próximo ano, segundo a distribuição de Poisson.

Tabela 12 - Nível de Segurança (NS) considerando o estoque atual

NM	Tipo	Estoque atual	Média Consumo	Desvio Consumo	CV	ADI	Perfil	NS estoque atual
161784	Redutor	0	0,1	0,3	3,32	10,00	Lumpy	91,3%
161819	Meio de Linha	10	1,0	2,7	2,72	4,50	Lumpy	100,0%
205262	Tail descontínuo	3	0,1	0,9	10,38	4,00	Lumpy	100,0%
267169	Tanker Rail	3	0,7	0,9	1,24	1,20	Errático	99,3%
267262	Tail contínuo	1	0,5	0,8	1,80	2,67	Lumpy	92,3%
279092	Lanterna chinesa (Extremidade)	7	0,3	2,0	7,16	1,00	Errático	100,0%
336232	First Off Buoy (FOB)	0	0,9	1,6	1,80	1,75	Lumpy	40,3%
336233	Meio de Linha	6	8,3	8,6	1,05	0,22	Errático	28,1%
336234	Redutor	0	0,6	1,0	1,61	1,75	Lumpy	52,9%
336235	Tail contínuo	0	1,5	2,7	1,77	1,20	Errático	21,3%
336237	Tail descontínuo	0	1,0	1,0	1,00	0,57	Errático	36,8%
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)	0	1,1	1,8	1,61	1,20	Errático	33,6%
336264	Lanterna chinesa (Meio de Linha)	0	0,4	0,9	2,54	4,50	Lumpy	69,5%
421264	Lanterna chinesa (Extremidade)	0	0,5	0,8	1,80	2,67	Lumpy	63,5%
426512	First Off Buoy (FOB)	0	1,1	1,9	1,76	2,67	Lumpy	33,6%
500729	Tanker Rail	2	0,8	1,4	1,71	1,75	Lumpy	95,0%
500731	Meio de Linha	7	1,5	1,7	1,10	0,83	Errático	100,0%
500734	Redutor	2	0,5	0,7	1,51	1,75	Lumpy	98,9%
500737	Meio de Linha	7	0,4	0,9	2,54	4,50	Lumpy	100,0%
500740	PLEM END	2	0,5	1,0	1,90	2,67	Lumpy	98,2%
503232	Meio de Linha	0	0,5	0,8	1,80	2,67	Lumpy	63,5%
517438	Tanker Rail	5	1,4	1,3	0,94	0,57	Errático	99,7%

Fonte: O autor

Lembrando que, conforme mostrado no capítulo 2, o CV representa o Coeficiente de variação: desvio-padrão da demanda dividido pela demanda média e o ADI representa o intervalo médio de tempo entre duas demandas: razão entre a quantidade de períodos sem demanda dividido pela quantidade de períodos com demanda.

Aplicação etapa 6 - Calcular a probabilidade de falha do componente no próximo período.

Para que a quebra de estoque ocorra no ano seguinte, dois fenômenos devem ocorrer ao mesmo tempo: O mangote romper ou ser reprovado em teste periódico e o saldo de

sobressalentes estar zerado. Portanto, foi decidido calcular a probabilidade de falha com base nas reprovações ocorridas em testes, pois não há histórico de rompimento em serviço.

Foi realizado um estudo de confiabilidade com os mangotes dos terminais T039 e T044 por possuírem mais dados registrados. Cada mangote possui uma ficha de acompanhamento individualizada, onde é registrado o histórico, conforme exemplo na Figura 22. Esta foi uma das etapas que geraram mais trabalho manual, pois os registros ficam em papel em cada terminal e não são disponibilizados no sistema de gerenciamento da manutenção da empresa estudada. O controle desses dados através de um sistema computadorizado de gerenciamento de manutenção foi uma das recomendações realizadas durante o trabalho para viabilizar aplicações sistemáticas deste estudo sem que haja necessidade de coletar dados manualmente novamente.

Figura 22 - Exemplo de ficha individual de mangote preenchida

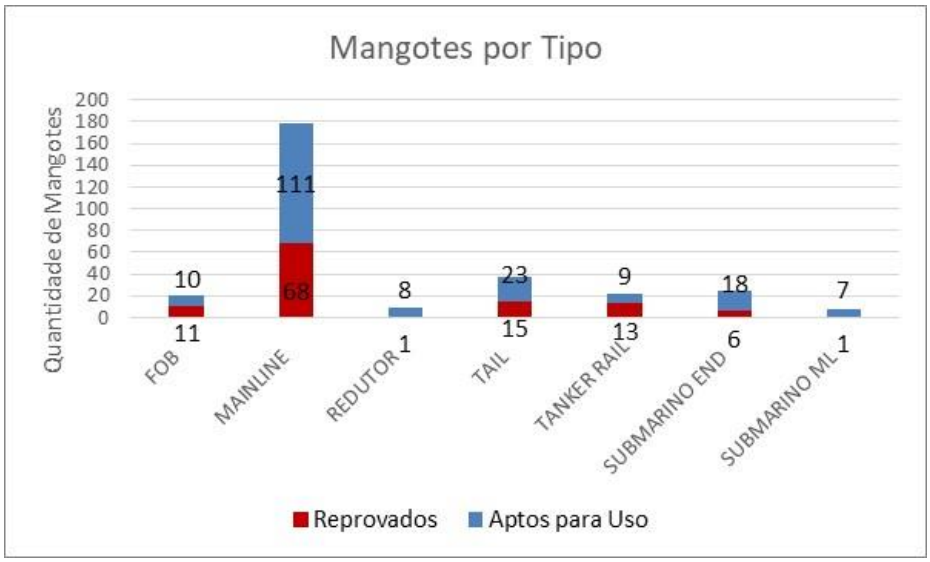
Ficha individual de mangote

Código:					Nº de fábrica:			
Fabricante:					Tipo:		Modelo:	
Dimensão:								
Posição								
Movimento	Data	Anterior	Atual	Dias de Mar	Descrição			Visto
1	23/05/2001	Fábrica	Estoque	0	Recebido conforme NF de transferência			
2	17/07/2001	Estoque	LFS	0	Entrou em operação na LFS na posição 6			
3	16/10/2001	LFS	Ensaio	91	Retirado para ensaio			
4	11/12/2001	ensaio	LFN	91	Entrou em operação na LFN na posição 6			
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								

Fonte: O autor

Ao longo do período estudado, foram elencados e agrupados os resultados dos testes por tipo de mangote. Os mangotes de meio de linha, por comporem o maior trecho das linhas, apresentam maior quantidade no histórico tanto de aprovações quanto de reprovações. A Figura 23 expressa o resultado resumido dos testes realizados. Os mangotes do tipo redutor e submarino são os que apresentam menor quantidade de falhas em seu histórico.

Figura 23 - Resultados de inspeções de mangotes por tipo

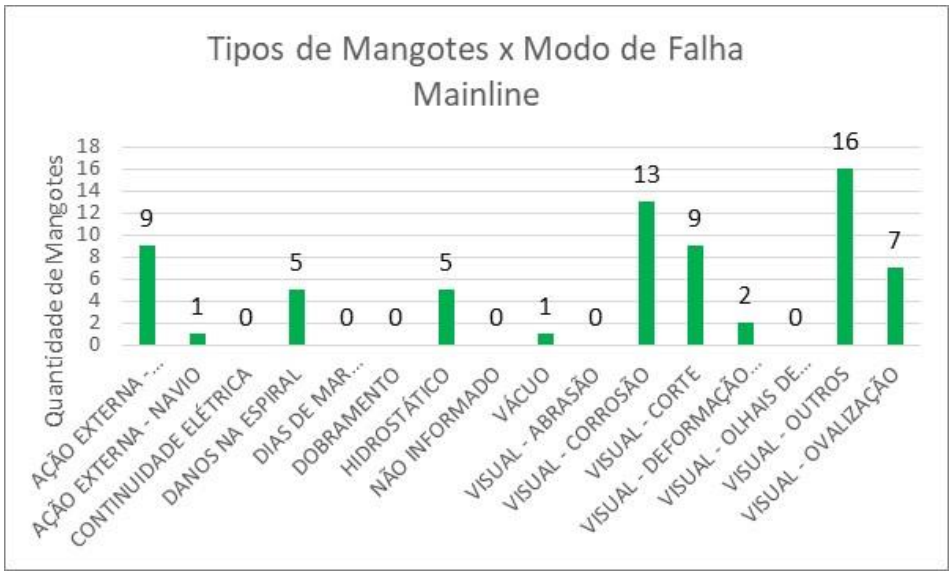


Fonte: O autor

Uma vez identificado o histórico, foram detalhados os modos de falha por tipo de mangote. A Figura 24 apresenta os modos de falha das reprovações dos mangotes de meio de linha. Para o tipo de mangote em questão, a maioria das reprovações se dá através de inspeções visuais. Dentre os tipos preestabelecidos, corrosão, corte e ovalização figuram entre os principais modos de falha. Em relação ao tipo de dados para análise da confiabilidade, foram feitas as seguintes considerações:

- Para os mangotes com danos externos, possíveis de serem verificados numa inspeção rotineira (pré-operacional, por exemplo), os dados foram considerados como completos;
- Para os mangotes que foram reprovados nos testes em terra ou por alguma falha interna ou que só foi possível observar na inspeção em seco, foram considerados os dados como em intervalo, considerando como início do intervalo, a inspeção em seco anterior;
- Para os mangotes em operação ou armazenados em estoque e aptos para uso, os dados foram considerados como censurados;
- Mangotes que falharam por problemas na monoboia (rolamento travado) ou na operação do navio (ruptura de cabo de amarração vindo a tracionar as linhas) não foram considerados nas análises.

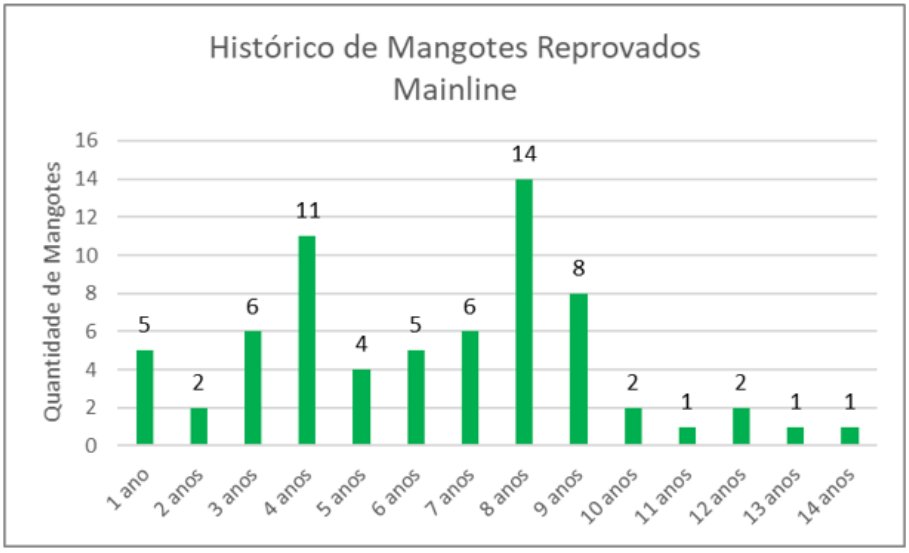
Figura 24 - Modos de falha para mangotes tipo Meio de Linha



Fonte: O autor

Outro atributo importante para a análise de confiabilidade foi o tempo até a falha, mais comumente conhecido por sua sigla em inglês TTF - *Time To Failure.* Cada tipo de mangote teve seu TTF calculado. A Figura 25 mostra o TTF para mangotes de meio de linha separados por quantidade e tempo para a falha, onde 5 mangotes falharam após 1 ano de uso, 6 falharam com 3 anos de uso e 14, a maioria, falharam em 8 anos de uso.

Figura 25 - TTF para mangotes de meio de linha



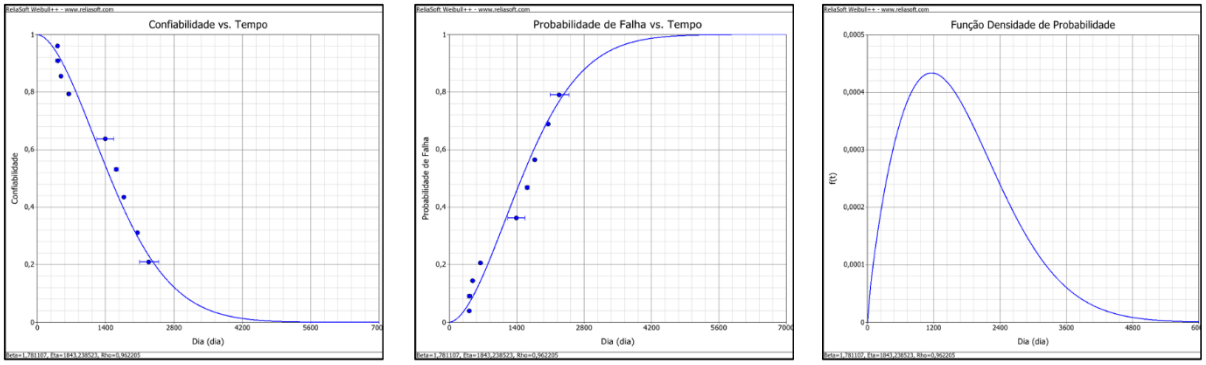
Fonte: O autor

Uma vez coletadas e organizadas as informações de falha para cada tipo de mangote, foram elencados três atributos para cada um com apoio do software Weibull ++, sendo eles:

1. Relação da Confiabilidade x tempo de uso em dias;
2. Probabilidade de falha x o tempo em dias;
3. Função densidade de probabilidade.

O primeiro identificado foi o caso dos mangotes do tipo FOB. Conforme mostrado na Figura 26, o histórico de falhas se ajustou melhor à distribuição Weibull com dois parâmetros (forma e escala), neste trabalho denominada de Weibull 2P. O parâmetro β maior que 1 indica que a probabilidade de falha está crescente na medida em que o tempo passa. Já o parâmetro η indica que 63,2% das falhas ocorrem no período de 1843,24 dias. A função densidade de probabilidade de falha indica que praticamente 100% das falhas ocorrem em até 4000 dias, ou seja, aproximadamente 11 anos.

Figura 26 - Curvas de confiabilidade para mangotes FOB



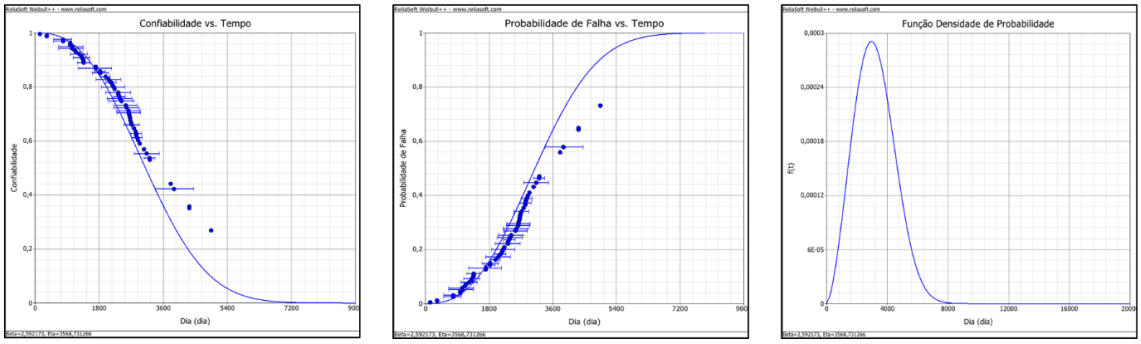
PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO		
Tipo de Distribuição	Beta	Eta
Weibull 2P	1,7811	1843,24

Fonte: O autor

O segundo caso estudado foi o dos mangotes de meio de linha, também conhecidos como *mainline*. Este é o tipo que possui maior quantidade de dados estudados. A curva de confiabilidade mais adequada ao histórico também foi a Weibull 2P. A Figura 27 mostra as curvas de confiabilidade, probabilidade de falha e densidade de probabilidade de falha ao longo do tempo. Uma constatação importante é que para este tipo de mangote as falhas se concentram mais no período entre zero e 3568,73 dias. Isso mostra que o tempo de vida

esperado é um pouco maior que os mangotes do tipo FOB. O parâmetro de forma para os mangotes de meio de linha também indica uma crescente e se mostra mais acelerado que o FOB, ou seja, crescem de forma mais rápida. O gráfico da densidade de probabilidade mostra bem esta aceleração.

Figura 27 - Curvas de confiabilidade para mangotes Meio de Linha

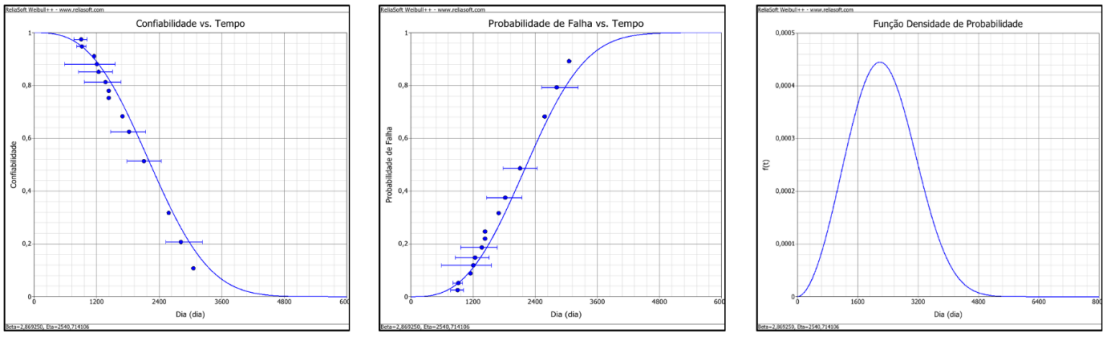


PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO		
Tipo de Distribuição	Beta	Eta
Weibull 2P	2,5922	3568,73

Fonte: O autor

O terceiro tipo de mangote estudado foi o *tail*. Por características construtivas semelhantes e pouco histórico de falhas dos mangotes redutores, os dois foram considerados como o mesmo tipo de mangote. Assim como os dois anteriores, a distribuição mais adequada ao histórico de falhas foi a Weibull 2P. Também como os outros apresentados até o momento, a probabilidade de falha é crescente em função do tempo, como mostra a Figura 28. O parâmetro β de 2,8692 mostra um crescimento da taxa de falhas muito acelerado. De todos os mangotes estudados este é o maior. Possivelmente o desgaste mais acelerado se dá porque este tipo de mangote é o que liga o meio de linha com o mangote *tanker rail* que fica conectado ao navio de forma que fica suspenso maior parte do tempo, enquanto a maioria dos demais ficam boiando. As movimentações de conexão e desconexão com os navios proporcionam danos mais rápidos a estes tipos de mangotes.

Figura 28 - Curvas de confiabilidade para mangotes Tail

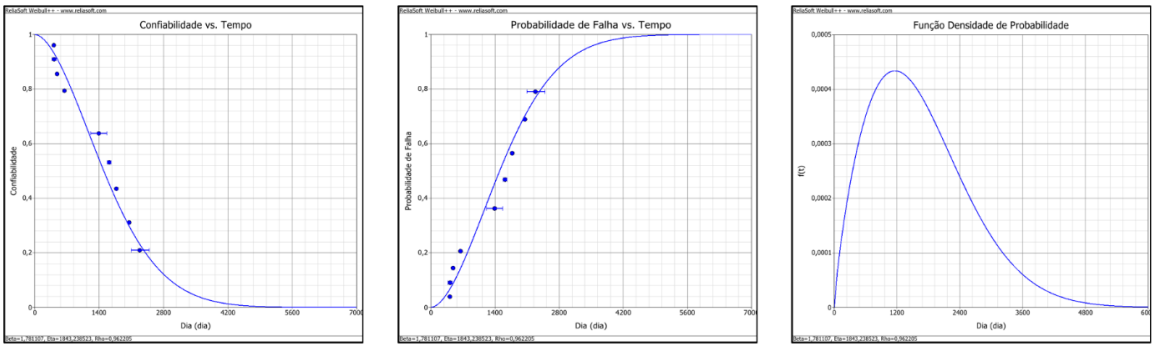


PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO		
Tipo de Distribuição	Beta	Eta
Weibull 2P	2,8692	2540,71

Fonte: O autor

O quarto tipo de mangote estudado foi o *tanker rail*. Este mangote faz a conexão com o navio. Assim como os anteriores, também teve o comportamento de suas falhas representado melhor pela distribuição Weibull 2P com probabilidade de falha crescente em função do tempo, conforme representado na Figura 29. De todos os estudados que se enquadram no mesmo tipo de distribuição, este é o que apresenta o menor η, indicando que 63,2% de suas falhas ocorrem num menor intervalo de tempo que os demais. Neste caso o parâmetro de escala calculado foi de 1283,10 dias, ou seja, aproximadamente 3,5 anos. Provavelmente os movimentos de conexão e desconexão dos navios são as principais causas das falhas, tendo como base também os principais modos de falha para este tipo de mangote serem característicos de danos externos.

Figura 29 - Curvas de confiabilidade para mangotes Tanker Rail

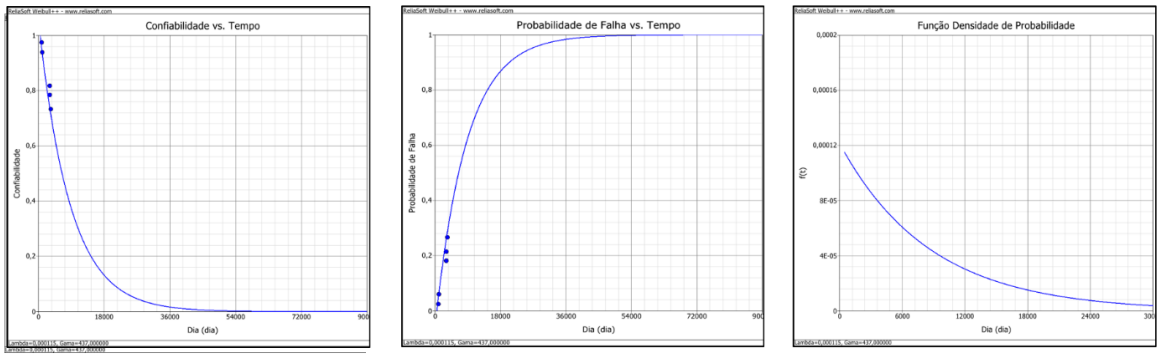


PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO		
Tipo de Distribuição	Beta	Eta
Weibull 2P	1,9753	1283,10

Fonte: O autor

Por fim, o último tipo de mangote que teve seus dados de falha avaliados foi o de mangotes submarinos. Diferente dos demais, este não mostrou um padrão de falhas aderente à distribuição Weibull e sim à distribuição exponencial, conforme mostrado na Figura 30. Isso indica que as falhas são aleatórias. Por segurança, foi adotada a probabilidade de falha no próximo ano de 100%. Tal decisão se dá principalmente pelo fato de ser um mangote submarino, o que torna a falha mais difícil de detectar rapidamente durante a operação, bem como uma falha em serviço será mais difícil de combater pois quando o possível petróleo vazado aparecer na superfície já terá se espalhado muito pelo fundo do mar. Os demais tipos de mangotes ficam visíveis durante a operação, o que permite uma percepção e combate de vazamento mais rápida.

Figura 30 - Curvas de confiabilidade para mangotes submarinos



PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO		
Tipo de Distribuição	Lambda	Gama
Exponencial	0,000115	437

Fonte: O autor

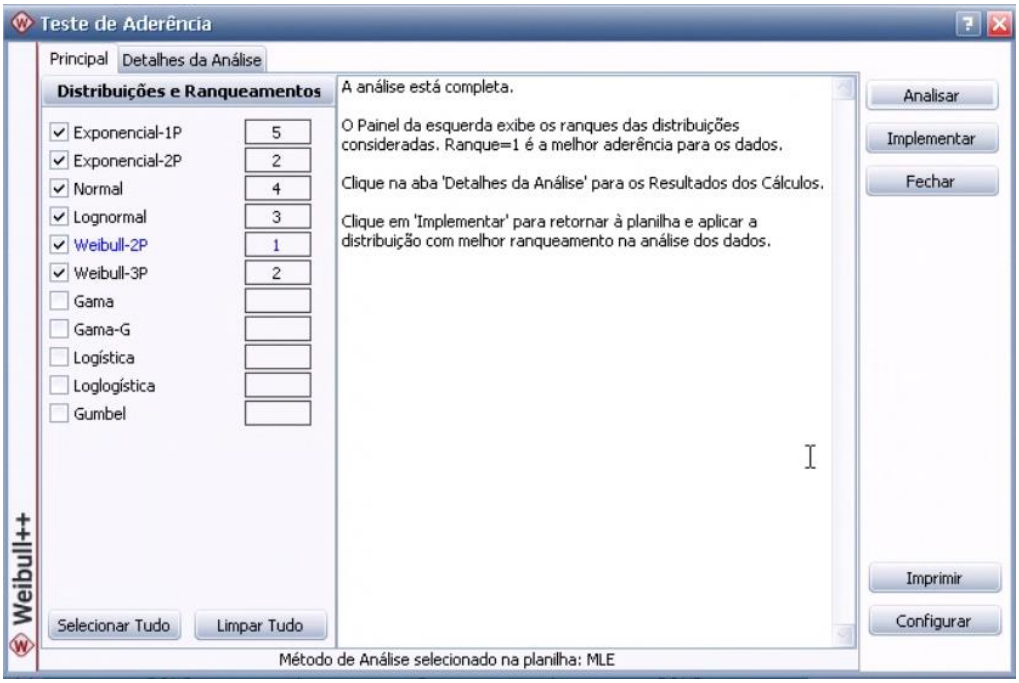
Para as análises de confiabilidade apresentadas foram utilizados os 3 tipos dados da seguinte forma:

- Para os mangotes com danos externos, possíveis de serem verificados numa inspeção rotineira (pré-operacional, por exemplo), foram considerados os dados como completos.
- Para os mangotes que foram reprovados nos testes em terra ou por alguma falha interna ou que só foi possível observar na inspeção em seco, foram considerados os dados como em intervalo, considerando como início do intervalo, a inspeção em seco anterior.

- Para os mangotes em operação ou em estoque e aptos para uso, foram considerados os dados como censurados.
- Mangotes que falharam por problemas na monoboia (rolamento travado) ou na operação do navio (ruptura de cabo de amarração vindo a tracionar as linhas) não foram considerados nas análises.

O teste de aderência foi realizado pelo *software* Weibull ++. O sistema faz diversos testes de aderência e indica o que melhor se aplica aos dados, bem como a distribuição mais adequada. A Figura 31 mostra um exemplo de classificação de distribuições conforme dados de tempo até a falha de um tipo de mangote.

Figura 31 - Classificação de distribuições conforme dados no sistema Weibull ++



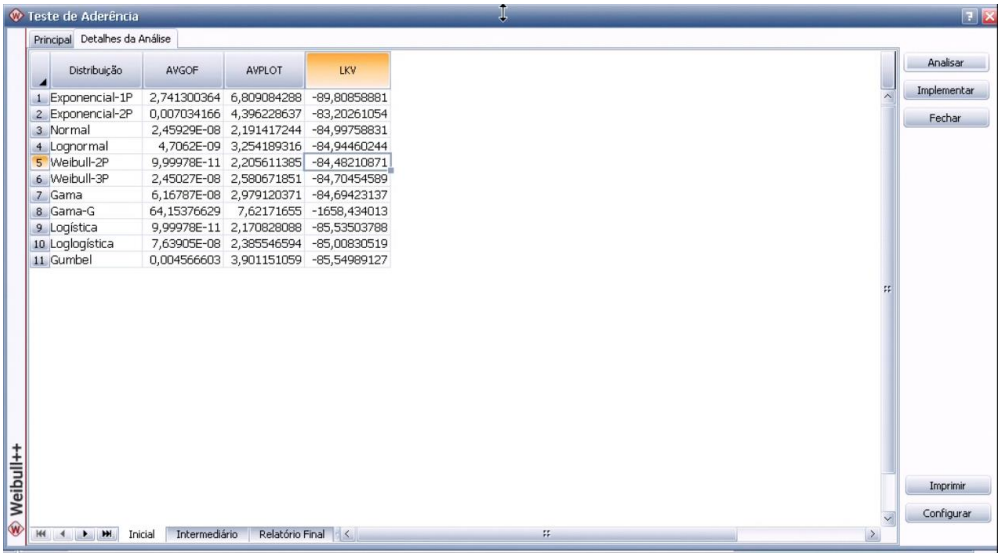
Fonte: O autor

A Figura 32 mostra um resumo dos testes para os dados de falha do mesmo tipo de mangote do exemplo mostrado na Figura 31. Neste caso o software realizou testes de aderência utilizando a metodologia Kolmogorov-Smirnov, com parâmetros listados na coluna AVGOF, teste de coeficiente de correlação com parâmetros na coluna AVPLOT e, por fim, com o método da máxima verossimilhança na coluna LKV.

O Weilbull++ executa três testes de qualidade de ajuste para determinar a classificação das distribuições:

- O teste de Kolmogorov-Smirnov (GOF) testa a diferença estatística (a diferença entre os resultados esperados e obtidos);
- O teste do coeficiente de correlação (PLOT) mede quão bem os pontos plotados se ajustam a uma linha reta;
- O teste de valor de verossimilhança (LKV) calcula o valor da função log-verossimilhança, dados os parâmetros da distribuição.

Figura 32 - Exemplo de testes de aderência utilizando Weibull ++



Fonte: O autor

Aplicação etapa 7 - Realizar levantamento de custos em caso de falta do material.

Caso haja falha de um mangote e a unidade não disponha de outro reserva para troca imediata, os navios ficam parados esperando ou então são realocados para outros terminais e aumentam o custo logístico até o consumidor final. Tanto as diárias extras como a realocação possuem custos que podem chegar a mais de U$ 100.000,00 ao dia. Então, de forma a simplificar a análise foi considerado que o navio irá esperar o tempo necessário desde a falha até a reposição do mangote danificado. Neste cálculo é utilizado o *lead time* como tempo que o sistema ficará indisponível até a chegada de novo mangote. Multiplicando o *lead time* pelo custo de um dia sem operar a linha o custo total é obtido. A Tabela 13, na coluna custo da falha, apresenta o resultado do cálculo de: *Lead time* x R$ 400.000,00 + custo de reposição do

mangote. O valor de R$ 400 mil foi adotado como custo médio de uma diária de navio parado e agrupa o lucro cessante no processo.

Aplicação etapa 8 - Calcular a relação custo x probabilidade de falha x probabilidade de falta do material em estoque.

Com as curvas de confiabilidade por tipo de mangote, foram calculadas as probabilidades de falha nos próximos 365 dias. Para o caso dos mangotes com distribuição exponencial, dada que a característica da falha é aleatória, foi adotada de forma conservadora a probabilidade de reprovação de teste no próximo ano de 100%. Esta probabilidade conservadora está alinhada com as recomendações da OCIMF (1995) e com a importância operacional dos equipamentos em questão, dado que existem poucos dados para tomada de decisão mais assertiva. O custo da falha considera, além da reposição do mangote, o pagamento de multa por diárias de navios pela duração média do processo de compra (*lead time*). Ao multiplicar o custo da falha pela probabilidade de ocorrerem tanto a reprovação do mangote quanto a falta dele em estoque, foi obtido o possível custo das falhas para comparar com o custo de manter em estoque. No caso apresentado na Tabela 13, se manter o nível de estoque atual existe a probabilidade de a empresa custear mais de R$ 170 milhões no próximo ano com falhas, sendo a probabilidade média de usar até as quantidades atuais existentes de 73,5%.

Tabela 13 - Cálculo do custo provável da falta de mangotes em estoque

NM	Tipo	Preço atual	Estoque atual	NS atual	Lead Time (dias)	Prob. Falha	Custo falha	Custo x Prob Falta	Custo estoque	Soma
161784	Redutor	R$ 251.558,98	0	91,3%	455	0,4%	R$ 182.251.558,98	R$ 60.407,58	R$ 314.448,73	R$ 317.152,93
161819	Meio de Linha	R$ 264.018,59	10	100,0%	218	0,3%	R$ 87.483.412,53	R$ 0,00	R$ 660.046,48	R$ 679.066,44
205262	Tail descontínuo	R$ 331.015,60	3	100,0%	345	0,4%	R$ 138.336.672,17	R$ 1,40	R$ 413.769,50	R$ 415.822,10
267169	Tanker Rail	R$ 378.542,49	3	99,3%	312	8,0%	R$ 125.316.118,25	R$ 65.863,83	R$ 946.356,23	R$ 1.323.138,98
267262	Tail contínuo	R$ 341.314,88	1	92,3%	309	0,4%	R$ 123.787.981,55	R$ 36.236,31	R$ 426.643,60	R$ 462.879,91
279092	Lanterna chinesa (Extremidade)	R$ 267.901,45	7	100,0%	299	100,0%	R$ 119.714.568,11	R$ 0,07	R$ 669.753,61	R$ 1.000.095,29
336232	First Off Buoy (FOB)	R$ 355.693,65	0	40,3%	310	5,4%	R$ 124.276.905,77	R$ 4.033.997,11	R$ 889.234,13	R$ 1.324.056,60
336233	Meio de Linha	R$ 365.042,39	6	28,1%	344	0,3%	R$ 138.136.487,61	R$ 268.826,02	R$ 5.475.635,85	R$ 5.504.742,83
336234	Redutor	R$ 367.883,05	0	52,9%	406	0,4%	R$ 162.893.943,66	R$ 292.504,83	R$ 919.707,63	R$ 936.395,89
336235	Tail contínuo	R$ 307.759,51	0	21,3%	535	0,4%	R$ 214.503.592,84	R$ 643.716,50	R$ 1.154.098,16	R$ 1.212.577,39
336237	Tail descontínuo	R$ 391.897,69	0	36,8%	430	0,4%	R$ 172.395.601,39	R$ 415.652,17	R$ 979.744,23	R$ 1.032.546,57
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)	R$ 556.609,69	0	33,6%	318	100,0%	R$ 127.622.165,25	R$ 84.752.478,49	R$ 2.783.048,45	R$ 3.453.433,85
336264	Lanterna chinesa (Meio de Linha)	R$ 510.014,77	0	69,5%	261	100,0%	R$ 105.096.681,44	R$ 32.039.361,44	R$ 1.275.036,93	R$ 1.917.864,15
421264	Lanterna chinesa (Extremidade)	R$ 304.461,40	0	63,5%	267	100,0%	R$ 106.971.128,07	R$ 39.072.657,31	R$ 1.141.730,25	R$ 1.274.368,01
426512	First Off Buoy (FOB)	R$ 424.212,13	0	33,6%	325	5,4%	R$ 130.303.454,55	R$ 4.704.064,51	R$ 1.060.530,33	R$ 1.753.010,11
500729	Tanker Rail	R$ 141.741,10	2	95,0%	153	8,0%	R$ 61.532.650,19	R$ 246.748,25	R$ 531.529,13	R$ 579.794,94
500731	Meio de Linha	R$ 160.120,29	7	100,0%	244	0,3%	R$ 97.670.726,35	R$ 54,72	R$ 600.451,07	R$ 619.352,23
500734	Redutor	R$ 219.852,74	2	98,9%	351	0,4%	R$ 140.433.186,07	R$ 5.985,83	R$ 274.815,93	R$ 315.924,77
500737	Meio de Linha	R$ 432.967,17	7	100,0%	631	0,3%	R$ 252.832.967,17	R$ 0,00	R$ 541.208,96	R$ 576.857,04
500740	PLEM END	R$ 396.489,47	2	98,2%	510	100,0%	R$ 204.363.156,14	R$ 3.692.813,26	R$ 1.486.835,51	R$ 1.976.042,42
503232	Meio de Linha	R$ 175.084,92	0	63,5%	328	0,3%	R$ 131.375.084,92	R$ 129.921,30	R$ 218.856,15	R$ 246.154,45
517438	Tanker Rail	R$ 296.079,02	5	99,7%	344	8,0%	R$ 138.036.079,02	R$ 31.148,35	R$ 1.480.395,10	R$ 1.622.623,12

Fonte: O autor

Observando a Tabela 13 é possível notar que alguns mangotes possuem uma baixa probabilidade de falha com um ano de operação além quantidade em estoque que cobre um nível de serviço – NS próximos ou iguais a 100%, de forma que a relação e custo x

probabilidade de falha é praticamente nula. Por outro lado, alguns indicam risco mais elevado e, consequentemente um valor maior na relação calculada. Estes são os mangotes que devem ter maior atenção num curto prazo.

Aplicação etapa 9 - Definir critérios estratégicos mínimos de segurança.

Neste caso, foi definido que para cada tipo de mangote deve haver ao menos uma unidade em estoque na companhia, mesmo que o ponto ótimo seja zero. Outro critério adotado foi que a quantidade em estoque deve ser em quantidade suficiente para que o nível de serviço seja superior a 90%.

Aplicação etapa 10 - Calcular a quantidade ótima que deve ser mantida em estoque.

Com base nas premissas apresentadas no capítulo anterior e os resultados calculados nas etapas apresentadas, foram calculadas as quantidades ótimas em estoque. Caso se mantenham as quantidades atualmente existente em estoque, existe o risco de ser gasto mais de R$ 170 milhões com falhas no próximo ano. O custo provável ao ser aplicado o modelo proposto baixa para pouco de R$ 28 milhões nos próximos 365 dias. Considerando somente o que terá de ser comprado a mais do que já tem em estoque o valor fica em torno de R$ 11 milhões. Com esse acréscimo a probabilidade média de consumo real ser em quantidade igual ou inferior ao disponível em estoque sobe de 73,5% para 95,7%, acarretando num incremento médio de 22,2% no nível de serviço. A Tabela 14 resume a análise e o estoque ótimo para cada tipo de mangote.

Tabela 14 - Cálculo do estoque otimizado

NM	Tipo	Preço atual	Estoque Proposto	NS Proposto	Lead Time (dias)	Prob. Falha	Custo falha	Custo x Prob Falta	Custo estoque	Soma
161784	Redutor	R$ 251.558,98	1	99,6%	455	0,4%	R$ 182.251.558,98	R$ 2.704,20	R$ 314.448,73	R$ 317.152,93
161819	Meio de Linha	R$ 264.018,59	2	92,0%	218	0,3%	R$ 87.483.412,53	R$ 19.019,97	R$ 660.046,48	R$ 679.066,44
205262	Tail descontínuo	R$ 331.015,60	1	99,6%	345	0,4%	R$ 138.336.672,17	R$ 2.052,60	R$ 413.769,50	R$ 415.822,10
267169	Tanker Rail	R$ 378.542,49	2	96,2%	312	8,0%	R$ 125.316.118,25	R$ 376.782,76	R$ 946.356,23	R$ 1.323.138,98
267262	Tail contínuo	R$ 341.314,88	1	92,3%	309	0,4%	R$ 123.787.981,55	R$ 36.236,31	R$ 426.643,60	R$ 462.879,91
279092	Lanterna chinesa (Extremidade)	R$ 267.901,45	2	99,7%	299	100,0%	R$ 119.714.568,11	R$ 330.341,67	R$ 669.753,61	R$ 1.000.095,29
336232	First Off Buoy (FOB)	R$ 355.693,65	2	93,6%	310	5,4%	R$ 124.276.905,77	R$ 434.822,48	R$ 889.234,13	R$ 1.324.056,60
336233	Meio de Linha	R$ 365.042,39	12	92,2%	344	0,3%	R$ 138.136.487,61	R$ 29.106,98	R$ 5.475.635,85	R$ 5.504.742,83
336234	Redutor	R$ 367.883,05	2	97,3%	406	0,4%	R$ 162.893.943,66	R$ 16.688,26	R$ 919.707,63	R$ 936.395,89
336235	Tail contínuo	R$ 307.759,51	3	92,9%	535	0,4%	R$ 214.503.592,84	R$ 58.479,22	R$ 1.154.098,16	R$ 1.212.577,39
336237	Tail descontínuo	R$ 391.897,69	2	92,0%	430	0,4%	R$ 172.395.601,39	R$ 52.802,35	R$ 979.744,23	R$ 1.032.546,57
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)	R$ 556.609,69	4	99,5%	318	100,0%	R$ 127.622.165,25	R$ 670.385,40	R$ 2.783.048,45	R$ 3.453.433,85
336264	Lanterna chinesa (Meio de Linha)	R$ 510.014,77	2	99,4%	261	100,0%	R$ 105.096.681,44	R$ 642.827,23	R$ 1.275.036,93	R$ 1.917.864,15
421264	Lanterna chinesa (Extremidade)	R$ 304.461,40	3	99,9%	267	100,0%	R$ 106.971.128,07	R$ 132.637,76	R$ 1.141.730,25	R$ 1.274.368,01
426512	First Off Buoy (FOB)	R$ 424.212,13	2	90,2%	325	5,4%	R$ 130.303.454,55	R$ 692.479,79	R$ 1.060.530,33	R$ 1.753.010,11
500729	Tanker Rail	R$ 141.741,10	3	99,0%	153	8,0%	R$ 61.532.650,19	R$ 48.265,81	R$ 531.529,13	R$ 579.794,94
500731	Meio de Linha	R$ 160.120,29	3	92,9%	244	0,3%	R$ 97.670.726,35	R$ 18.901,16	R$ 600.451,07	R$ 619.352,23
500734	Redutor	R$ 219.852,74	1	92,3%	351	0,4%	R$ 140.433.186,07	R$ 41.108,84	R$ 274.815,93	R$ 315.924,77
500737	Meio de Linha	R$ 432.967,17	1	94,8%	631	0,3%	R$ 252.832.967,17	R$ 35.648,08	R$ 541.208,96	R$ 576.857,04
500740	PLEM END	R$ 396.489,47	3	99,8%	510	100,0%	R$ 204.363.156,14	R$ 489.206,90	R$ 1.486.835,51	R$ 1.976.042,42
503232	Meio de Linha	R$ 175.084,92	1	92,3%	328	0,3%	R$ 131.375.084,92	R$ 27.298,30	R$ 218.856,15	R$ 246.154,45
517438	Tanker Rail	R$ 296.079,02	4	98,7%	344	8,0%	R$ 138.036.079,02	R$ 142.228,02	R$ 1.480.395,10	R$ 1.622.623,12

Fonte: O autor

Como forma de fazer um teste de aderência do modelo proposto e dado que existe a possibilidade da elaboração de contrato de fornecimento de mangotes num prazo de 30 dias, foi realizado novo cálculo considerando esta possibilidade. A Tabela 15 traz o resumo indicando o estoque atual, o estoque proposto com base no *lead time* médio real, o incremento do nível de serviço por mangote e o estoque proposto com base no *lead time* médio de 30 dias. Também foi realizada comparação com a quantidade atualmente sugerida em padrão na companhia.

Tabela 15 - Resumo das quantidades e custos calculados

Objeto	Estoque atual	Estoque proposto	Incremento NS	Proposto com LT 30 dias	Padrão	Preço atual	Custo Calculado	Custo LT 30 dias	Custo padrão	Dif.calc x pad	Dif. LT30 x Calc
161784	0	1	8,3%	1	1	R$ 251.558,98	R$ 251.558,98	R$ 251.558,98	R$ 251.558,98	R$ 0,00	R$ 0,00
161819	10	2	0,0%	2	17	R$ 264.018,59	R$ 528.037,18	R$ 528.037,18	R$ 4.488.316,03	-R$ 3.960.278,85	-R$ 3.960.278,85
205262	3	1	0,0%	1	1	R$ 331.015,60	R$ 331.015,60	R$ 331.015,60	R$ 331.015,60	R$ 0,00	R$ 0,00
267169	3	2	0,0%	2	1	R$ 378.542,49	R$ 757.084,98	R$ 757.084,98	R$ 378.542,49	R$ 378.542,49	R$ 378.542,49
267262	1	1	0,0%	1	2	R$ 341.314,88	R$ 341.314,88	R$ 341.314,88	R$ 682.629,76	-R$ 341.314,88	-R$ 341.314,88
279092	7	2	0,0%	2	2	R$ 267.901,45	R$ 535.802,89	R$ 535.802,89	R$ 535.802,89	R$ 0,00	R$ 0,00
336232	0	2	53,3%	2	5	R$ 355.693,65	R$ 711.387,30	R$ 711.387,30	R$ 1.778.468,25	-R$ 1.067.080,95	-R$ 1.067.080,95
336233	6	12	64,1%	12	29	R$ 365.042,39	R$ 4.380.508,68	R$ 4.380.508,68	R$ 10.586.229,31	-R$ 6.205.720,63	-R$ 6.205.720,63
336234	0	2	44,4%	2	4	R$ 367.883,05	R$ 735.766,10	R$ 735.766,10	R$ 1.471.532,20	-R$ 735.766,10	-R$ 735.766,10
336235	0	3	71,5%	3	9	R$ 307.759,51	R$ 923.278,53	R$ 923.278,53	R$ 2.769.835,59	-R$ 1.846.557,06	-R$ 1.846.557,06
336237	0	2	55,2%	2	4	R$ 391.897,69	R$ 783.795,38	R$ 783.795,38	R$ 1.567.590,76	-R$ 783.795,38	-R$ 783.795,38
336240	0	4	65,9%	3	5	R$ 556.609,69	R$ 2.226.438,76	R$ 1.669.829,07	R$ 2.783.048,45	-R$ 556.609,69	-R$ 1.113.219,38
336264	0	2	29,9%	1	2	R$ 510.014,77	R$ 1.020.029,54	R$ 510.014,77	R$ 1.020.029,54	R$ 0,00	-R$ 510.014,77
421264	0	3	36,4%	2	1	R$ 304.461,40	R$ 913.384,20	R$ 608.922,80	R$ 304.461,40	R$ 608.922,80	R$ 304.461,40
426512	0	2	56,6%	2	1	R$ 424.212,13	R$ 848.424,26	R$ 848.424,26	R$ 424.212,13	R$ 424.212,13	R$ 424.212,13
500729	2	3	4,0%	2	3	R$ 141.741,10	R$ 425.223,30	R$ 283.482,20	R$ 425.223,30	R$ 0,00	-R$ 141.741,10
500731	7	3	0,0%	3	11	R$ 160.120,29	R$ 480.360,86	R$ 480.360,86	R$ 1.761.323,14	-R$ 1.280.962,28	-R$ 1.280.962,28
500734	2	1	0,0%	1	3	R$ 219.852,74	R$ 219.852,74	R$ 219.852,74	R$ 659.558,22	-R$ 439.705,48	-R$ 439.705,48
500737	7	1	0,0%	1	9	R$ 432.967,17	R$ 432.967,17	R$ 432.967,17	R$ 3.896.704,53	-R$ 3.463.737,36	-R$ 3.463.737,36
500740	2	3	1,6%	2	3	R$ 396.489,47	R$ 1.189.468,41	R$ 792.978,94	R$ 1.189.468,41	R$ 0,00	-R$ 396.489,47
503232	0	1	28,9%	1	3	R$ 175.084,92	R$ 175.084,92	R$ 175.084,92	R$ 525.254,76	-R$ 350.169,84	-R$ 350.169,84
517438	5	4	0,0%	3	5	R$ 296.079,02	R$ 1.184.316,08	R$ 888.237,06	R$ 1.480.395,10	-R$ 296.079,02	-R$ 592.158,04
Total							**R$ 19.395.100,74**	**R$ 17.189.705,29**	**R$ 39.311.200,84**	**-R$ 19.916.100,10**	**-R$ 22.121.495,55**
Custo anual para manter o estoque (25% ao ano)							**R$ 4.848.775,18**	**R$ 4.297.426,32**	**R$ 9.827.800,21**	**-R$ 4.979.025,03**	**-R$ 5.530.373,89**

Fonte: O autor

Analisando os resultados é possível notar que a redução nas quantidades propostas para manter em estoque se houver o contrato com prazo de entrega em 30 dias gira em torno de R$ 2 milhões. Isso representa uma redução de 11,4% no valor estocado caso o *lead time* médio mude de 350 dias para 30 dias. Em vários mangotes a redução do *lead time* não altera a quantidade ótima a se manter em estoque. A redução de uma unidade sobressalente indicada ocorre em 6 dos 22 tipos de mangote. Também é possível observar que, em caso de restrições orçamentárias, o NM 336235 deve ser priorizado por apresentar o maior incremento no nível de serviço (71,5%), seguido dos NMs 336240 e 336233. A ordenação sugerida para compra vai do mangote que apresenta maior incremento do nível de serviço até o menor.

Por fim, foram realizadas comparações com as quantidades calculadas e as propostas no padrão. Ao comprar as quantidades calculadas com o *lead time* real, a economia em relação ao padronizado é de quase R$ 20 milhões e uma redução no custo anual de armazenamento próximo a R$ 5 milhões.

Aplicação etapa 11 - Verificar a melhor localização para armazenamento dos mangotes.

Uma vez que a quantidade de cada modelo de mangote a ser mantida em estoque foi calculada, a última etapa é identificar onde armazenar. A Tabela 16 mostra a distribuição com base no percentual utilizado historicamente. Os primeiros mangotes são utilizados somente na unidade denominada T073, portanto devem ficar armazenados em sua totalidade no terminal indicado. Porém os armazenados nos centros T039 e T044 devem dividir as quantidades entre si na proporção e quantidade indicada, pois é a que historicamente vem sendo utilizada. O mesmo se dá pelo compartilhamento de mangotes entre as unidades T055 e T057. Dado que o compartilhamento se dá em no máximo duas instalações, o cálculo da distribuição de probabilidade de consumo foi mais simplificado e feito com a relação direta do histórico.

Tabela 16 - Distribuição sugerida de armazenamento dos mangotes sobressalentes

MANGOTES		PERCENTUAL UTILIZADO					QUANTIDADE EM ESTOQUE					
NM	Tipo	T073	T055	T057	T039	T044	T073	T055	T057	T039	T044	Total
161784	Redutor	100%					1					1
161819	Meio de Linha	100%					2					2
205262	Tail descontínuo	100%					1					1
267169	Tanker Rail	100%					2					2
267262	Tail contínuo	100%					1					1
279092	Lanterna chinesa (Extremidade)	100%					2					2
426512	First Off Buoy (FOB)	100%					2					2
336232	First Off Buoy (FOB)				30%	70%				1	1	2
336233	Meio de Linha				47%	53%				6	6	12
336234	Redutor				29%	71%				1	1	2
336235	Tail contínuo				24%	76%				1	2	3
336237	Tail descontínuo				36%	64%				1	1	2
336240	Lanterna chinesa (Extremidade)				33%	67%				1	3	4
336264	Lanterna chinesa (Meio de Linha)				50%	50%				1	1	2
421264	Lanterna chinesa (Extremidade)					100%					3	3
517438	Tanker Rail				33%	67%				1	3	4
500729	Tanker Rail		22%	78%				1	2			3
500731	Meio de Linha		47%	53%				1	2			3
500734	Redutor		60%	40%				1	0			1
500737	Meio de Linha		25%	75%				0	1			1
500740	PLEM END		50%	50%				2	2			3
503232	Meio de Linha		40%	60%				0	1			1

Fonte: O autor

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os terminais aquaviários responsáveis pelo carregamento e descarregamento de petróleo e derivados possuem uma função estratégica em vários setores da economia brasileira, além do risco ambiental para o país devido a possibilidade de derramamento de petróleo no mar. Manter estes terminais em condições operacionais continuamente é um grande desafio das equipes de manutenção e, como parte extremamente importante desse processo, está o dimensionamento adequado de sobressalentes. Existem vários artigos e livros que apoiam, guiam e trazem boas práticas para diversos tipos de materiais distintos, porém especificamente para mangotes *offshore* a produção científica é escassa. Isso torna este trabalho de grande valia para as empresas do setor e abre caminho para outros trabalhos no mesmo sentido.

Manter o equilíbrio entre desempenho, custo e risco é fundamental para todas as equipes de manutenção. Tomar decisões sobre o quanto deve-se manter em estoque para itens de alto risco leva muitas vezes a superdimensionar as quantidades de peças de reposição sobressalentes, levando a custos por vezes muito superiores ao de combater ou ações mitigadoras sobre os próprios acidentes que se querem evitar. Como forma de mostrar que é possível aplicar conhecimento científico e tomar decisões com base em dados, este trabalho aplicou a modelagem proposta num dos itens mais arriscados em terminais *offshore*: os mangotes. Por serem feitos majoritariamente de borracha, estarem distante da costa, sujeito a movimentações bruscas dos navios em função da maré ou dos ventos, estes equipamentos são alvos de muitos estudos sobre resistência mecânica. O efeito desses estudos é percebido na inexistência de histórico na companhia de rompimento em serviço e a baixa taxa de falhas encontradas através de inspeções periódicas. O intervalo dessas inspeções também é fruto de muitas análises. Faltava a parte de sobressalentes que foi apresentada e aplicada nesta dissertação, pois uma vez reprovados a linha não pode operar até que o mangote reprovado seja substituído por um novo.

A metodologia desenvolvida se mostrou de fácil aplicação, o que a torna viável para aplicação em terminais dos mais diversos portes. A identificação do perfil de consumo, as análises de probabilidade de falha e a definição dos locais de armazenamento foram feitos todos de maneira que a replicação do modelo seja rápida e que utilizando as etapas propostas consiga ser bem entendida por profissionais das mais diversas áreas da engenharia que estejam trabalhando com terminais *offhsore*, podendo ser até empregado com outros equipamentos de demanda irregular.

Os impactos causados tanto em aumento do nível de serviço e diminuição de custo na faixa dos milhões de reais foi mostra a importância da realização e expansão deste tipo de análise, principalmente em terminais *offshore* que ainda carecem de publicações. O aumento do nível de serviço (NS) obtido foi de 22,2%, saindo de 73,5% para 95,7%, sendo o investimento para obter tal ganho de pouco mais de R$ 11 milhões em relação ao estoque atual. Considerando o estoque conservador que estava sendo proposto em padrão de mais de R$ 39 milhões, houve uma economia cerca de R$ 20 milhões em ativos imobilizados e R$ 5 milhões anuais em manutenção do estoque.

Outro ganho trazido neste trabalho é que, como a maioria das empresas trabalham com orçamento anual, será possível aplicar esta análise todos os anos para definir quantos e quais mangotes devem ser comprados para o ano seguinte de forma assertiva e rápida.

Por fim, tanto para empresa onde o modelo foi aplicado quanto para outras que busquem aplicar, é recomendado que seja implementado um controle melhor através de sistema computadorizado de gerenciamento de manutenção os dados de falha dos mangotes. Manter o histórico organizado ajudará para novas análises.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Apesar da praticidade do modelo desenvolvido, algumas limitações e ressalvas precisam ser apontadas. A primeira é que alguns parâmetros precisaram ser estimados por falta de dados. Como o gerenciamento de mangotes não era feito em sistema computorizado de gerenciamento de manutenção, foi necessária a busca de informações através de planilhas locais que por vezes não apresentavam dados coerentes. Os únicos dados acompanhados via sistema de gerenciamento da manutenção da empresa de forma comum a todos os terminais eram as requisições e os pedidos de compra, porém existem relatos de que alguns mangotes foram fornecidos pelos donos dos ativos sem o correto registro. Isso pode levar a desvios nos resultados dos cálculos, porém como são poucos casos a diferença não deve ser relevante.

Uma segunda limitação está na previsão de reprovação dos mangotes no ano seguinte. Como forma de testar o modelo, foi considerado que todos foram trocados no último ano e, por isso, a probabilidade de falha foi considerada nos primeiros 365 dias das respectivas curvas de confiabilidade. Para mangotes em uso a mais tempo, deve ser considerada a probabilidade condicional, indicando o quanto da curva de vida o mangote já percorreu para cálculo da probabilidade no ano seguinte.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como este modelo é facilmente adaptável para outros componentes de elevado valor e perfil de consumo irregular, a aplicação dele para análise de mangotes de píer e de operações *ship-to-ship* agregará bastante valor às empresas do setor. Além desta sugestão, pode-se destacar as seguintes:

- Determinação de curvas de dados de vida de mangotes utilizando conhecimento a *priori.*
- Modelo de apoio à decisão para determinação de mangotes de píer sobressalentes;
- Determinação de viabilidade e intervalo ótimo de substituição mangotes por tempo de uso;
- Análise de dados de vida para cabos de amarração de navios-tanque em terminais *offshore*.

REFERÊNCIAS

4SUBSEA. 2018. *State of the art Bonded Flexible Pipes 2018.* Petroleum Safety Authority Norway - PSA. 2018. 26583U-1161480945-354.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5262 - Confiabilidade e mantenabilidade. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994.

ACHAMRAH, Fatima Ezzahra, RIANE, Fouad e LIMBOURG, Sabine. 2022. Spare parts inventory routing problem with transshipment and substitutions under stochastic demands. *Applied Mathematical Modelling.* 2022, Vol. 101, pp. 309-331.

AKYUZ, Emre e CELIK, Erkan. 2016. A modified human reliability analysis for cargo operation in singlepoint mooring (SPM) off-shore units. *Applied Ocean Research.* 2016, Vol. 58, pp. 11-20.

ALMEIDA, Adiel Teixeira de, et al. 2001. *Gestão da Manutenção - Na direção da competitividade.* Recife : Universitária da UFPE, 2001. ISBN 85-7315-273-7.

ALMEIDA, Adiel Teixeira de, et al. 2015. *Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis.* [ed.] International Series in Operations Research & Management Science. 127. s.l. : Springer, 2015. Vol. 231. ISBN 978-3-319-17968-1 / ISSN 0884-8289.

AMAECHI, Chiemela Victor, et al. 2021. Review on the design and mechanics of bonded marine hoses for Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) buoys. *Ocean Engineering.* 2021, Vol. 242.

AMAECHI, Chimela Victor, et al. 2021. An Overview on Bonded Marine Hoses for Sustainable Fluid Transfer and (Un) Loading Operations via Floating Offshore Structures (FOS). *Marine Science and Engineering.* 9, 2021.

AMAECHI, Victor, WANG, Facheng e YE, Jianaiao. 2021. Numerical Assessment on the Dynamic Behaviour of Submarine Hoses Attached to CALM Buoy Configured as Lazy-S under WaterWaves. *Marine Science and Engineering.* 9, 2021.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2021. Importações & exportações (metros cúbicos). [Online] 03 de 2021. [Citado em: 03 de 04 de 2021.] https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos.

ANTAQ, Agência Nacional de Transportes Aquaviário. 2021. Anuário de Movimentação Portuária. [Online] ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2021. [Citado em: 21 de 04 de 2021.] Filtrado relatório com Perfil de Carga = Granéis líquidos e gasosos / Grupo de Mercadoria = Combustíveis minerais, óleos minerais ... (SH2 = 27). http://web.antaq.gov.br/Anuario/.

ARONIS, Kostas-Platon, et al. 2004. Inventory control of spare parts using a Bayesian approach: a case study. *European Journal of Operational Research.* 2004, Vol. 154 (3), pp. 730 - 739.

AUWERAER, Sarah Van der, ZHU, Sha e BOUTE, Robert N. 2021. The value of installed base information for spare part inventory control. *International Journal of Production Economics.* 2021, Vol. 239.

BILLINGTON, Corey, et al. 2004. Accelerating the Profitability of Hewlett-Packard's Supply Chains. *Informs.* 2004, Vol. 34, 1, pp. 59 - 72.

BLISCHKE, Wallace R. e MURTHY, D. N. Prabhakar. 2003. *Case Studies in Reliability and Maintenance.* [ed.] D. N. Prabhakar Murthy. Wallace R. Blischke. Hoboken : WILEY INTERSCIENCE, 2003. ISBN 0-471-41373-9 (cloth).

BRITO, Anderson J., ALMEIDA, Adiel Teixeira de e MOTA, Caroline M.M. 2010. A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory. *European Journal of Operational Research.* 200, 2010, pp. 812–821.

Controle de estoque de peças de reposição: uma revisão da literatura. **REGO, José Roberto do e MESQUITA, Marco Aurélio de. 2011.** São Paulo : s.n., 2011, Produção, Vol. 21, pp. 645 - 655.

FERNANDES, Roberto Klecius Mendonça. 2010. MODELO DE GERENCIAMENTO DE ESTOQUES DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO PARA EMPRESAS DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS. Natal : s.n., 2010.

FOGLIATTO, Flavio Sanson e RIBEIRO, José Luiz Duarte. 2011. *Confiabilidade e manutenção industrial.* Rio de Janeiro : Elsevier: ABEPRO, 2011. ISBN 978-85-352-5188-3.

GAO, Qiang, et al. 2018. Investigation on structural behavior of ring-stiffened composite offshore rubber hose under internal pressure. *Applied Ocean Research.* 2018, Vol. 79, pp. 7 - 19.

HANBALI, Ahmad Al, et al. 2022. Spare parts supply with incoming quality control and inspection errors in condition based maintenance. *Computers & Industrial Engineering.* 2022, Vols. 172 - A.

HU, QIWEI, et al. 2018. OR in spare parts management: A review. *European Journal of Operational Research.* 266, 2018, Vol. 2, pp. 395-415.

IBP, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. 2020. Evolução da produção, exportação e importação de petróleo. [Online] Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP, 08 de 2020. [Citado em: 22 de 04 de 2021.] https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/producao-importacao-e-exportacao-de-petroleo/.

KAPUSCINSKI, Roman, et al. 2004. Inventory Decisions in Dell's Supply Chain. *Interfaces.* 2004, Vol. 34, 3, pp. 191 - 205.

KOK, Ton de, et al. 2005. Philips Electronics Synchronizes Its Supply Chain to End the Bullwhip Effect. *Interfaces.* 2005, Vol. 35, 1, pp. 37-48.

LIMA, HEITOR F. L. DE, et al. 2021. A COMPARATIVE ANALISYS FOR GAS PIPELINE RISK ASSESSMENT BASED ON INTERNATIONAL STANDARDS AND A MULTICRITERIA MODEL. *11th IMA International Conference on Modelling in Industrial Maintenance and Reliability (MIMAR).* 2021. 11.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. 2012. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.* Rio de Janeiro : Elsevier: ABEPRO, 2012. ISBN 978-85-352-4850-0.

MOUSCHUTZI, Maria e PONIS, Stavros T. 2022. A comprehensive literature review on spare parts logistics management in the maritime industry. *The Asian Journal of Shipping and Logistics.* 2022.

NENES, George, PANAGIOTIDOU, Sofia e TAGARAS, George. 2010. Inventory management of multiple items with irregular demand: A case study. [ed.] Elsevier. *European Journal of Operational Research.* 205, 2010, pp. 313–324.

NGUYEN, Ho Si Hung, et al. 2019. Dynamic maintenance grouping and routing for geographically dispersed production systems. *Reliability Engineering & System Safety.* Maio de 2019, Vol. 185, pp. 392-404.

OCIMF, Oil Companies International Marine Forum. 2009. *GMPHOM - Guide to Manufacturing and Purchasing Hoses for Offshore Moorings.* Londres : Witherby Seamanship International, 2009. ISBN-13 : 978-1905331888.

OCIMF, Oil Companies International Marine Forum. 2010. *Guidelines for the Design, Operation and Maintenance of Multi Buoy Moorings.* Londres : Witherby Publishing Group, 2010. ISBN 9781856093613.

OCIMF, Oil Companies International Marine Forum. 2020. *ISGOTT – International Safetu Guide for Oil Tankers and Terminals.* Livington : Witherby Publishing Group, 2020. ISBN 978-1-85609-919-6.

OCIMF, Oil Companies International Marine Forum. 2015. *Single Point Mooring Maintenance and Operations Guide (SMOG).* 3. Londres : Witherby, 2015. ISBN-10: 1856096319 / ISBN-13: 978-1856096317.

OCIMF, Oil Companies International Marine Forum. 1995. *Single Point Mooring Maintenance and Operations Guide (SMOG).* 2. Londres : Witherby & Company, 1995. ISBN-10 1856090728 / ISBN-13 9781856090728.

OCP ECUADOR. 2018. *Application of Asset Management Techniques for marine hoses LIFE extension.* Quito : s.n., 2018.

RELIASOFT CORPORATION. 2015. *Life Data Analysis Reference.* Tucson : ReliaSoft Corporation, 2015.

RELIASOFT. 2015. *Life Data Analysis Reference.* Tucson : ReliaSoft Corporation, 2015.

SACHS, F. E., HELBER, S. e KIESMULLER, G. P. 2022. Evaluation of Unreliable Flow Lines with Limited Buffer Capacities and Spare Part Provisioning. *European Journal of Operational Research.* 2022, Vol. 302, pp. 544 - 559.

SARACENI, Pedro Paulo. 2006. *Transporte Marítimo de Petróleo e Derivados.* Rio de Janeiro : Interciência, 2006. ISBN 85-7193-138-0.

Spare parts inventory control - an overview of issues for a large industrial complex. **DEKKER, Rommert e BAYINDIR, Zeynep Pelin. 2004.** Villa Erba : s.n., 2004. IMS International Forum 2004 - Global Challenges in Manufacturing.

TONATTO, Maikson L. P., et al. 2018. Multi-scale analyses of a floating marine hose with hybrid polyaramid/polyamide reinforcement cords. *Marine Structures.* 2018, Vol. 60, pp. 279-292.

TRANSPETRO, Petrobras Transporte S/A. 2020. Relatório Anual Integrado 2020. [Online] 2020. [Citado em: 03 de 04 de 2021.] http://transpetro.com.br/transpetro-institucional/instrumentos-de-governanca/relatorios.htm.

TRANSPETRO, Petrobras Transporte S/A. 2021. Terminais Aquaviários. [Online] 2021. [Citado em: 21 de 04 de 2021.] http://www.transpetro.com.br/transpetro-institucional/nossas-atividades/dutos-e-terminais/terminais-aquaviarios/angra-dos-reis-rj.htm.

UMA COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE PREVISÃO DE DEMANDA DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO: UMA APLICAÇÃO AO TRANSPORTE FERROVIÁRIO. **BERTOLDE, Adelmo Inácio e JUNIOR, Walter Paganucci Xavier. 2013.** 3, Ponta Grossa : Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, 2013, Revista Gestão Industrial, Vol. 9, pp. 535-551. ISSN 1808-0448.

VERGARA, Sylvia Constant. 2013. *Projetos e relatórios de pesquisa em administração.* 14. São Paulo : Atlas, 2013.

WANG, Keren e DJURDJANOVIC, Dragan. 2018. Joint Optimization of Preventive Maintenance, Spare Parts Inventory and Transportation Options for Systems of Geographically Distributed Assets. *Machines.* 6, 2018, Vol. 55.

WATERS, Donald. 2003. *Inventory Control and Management.* 2. Chichester : Wiley, 2003. ISBN 0-470-85876-1.

YOKOHAMA RUBBER. 2010. *Outline of Life Estimation Program.* Kanagawa : s.n., 2010. SO 2910101.

YOKOHAMA. 2021. YOKOHAMA RUBBER CO - Standard hose configuration. *YOKOHAMA RUBBER CO.* [Online] YOKOHAMA RUBBER CO, 5 de 12 de 2021. [Citado em: 5 de 12 de 2021.] https://www.y-yokohama.com/global/product/mb/marine-hoses.

ZADEHA, Alireza Sheikh e ROSSETI, Manuel D. 2020. Classification methods for problem size reduction in spare part provisioning. *International Journal of Production Economics.* 2020, Vol. 219, pp. 99-114.

ZHOU, Yang, et al. 2018. Theoretical analysis of reinforcement layers in bonded flexible marine hose under internal pressure. *Engineering Structures.* 2018, Vol. 168, pp. 384-398.

ZHU, Mixin e ZHOU, Xiaojun. 2022. Hypergraph-based joint optimization of spare part provision and maintenance scheduling for serial-parallel multi-station manufacturing systems. *Reliability Engineering & System Safety.* 2022, Vol. 225.